

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
VŠB - Technical University of Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Využití elektromobilů jako akumulčních systémů
Application electric vehicle as accumulation systems

Diplomová práce

Ostrava 2015/2016

Bc. Michal Vincenc

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Vincenc**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Využití elektromobilů jako akumulčních systémů
Využití elektromobilů jako akumulčních systémů

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický úvod
2. Popis testovací platformy
3. Návrh testovacích scénářů
4. Analýza modelových situací
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Kempton, Willett and Jasna Tomić, "Vehicle to Grid Power Implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy". Journal of Power Sources, Volume 144, Issue 1, 1 June 2005, p280-294.
- [2] Kempton, Willett and Jasna Tomić, "Vehicle to Grid Fundamentals: Calculating Capacity and Net Revenue", Journal of Power Sources, Volume 144, Issue 1, 1 June 2005, Pages 268-279
- [3] Tao Meng; Xin Ai, "The Operation of Microgrid Containing Electric Vehicles," in Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011, pp.1-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 27. dubna 2016



.....
Bc. Michal Vincenc

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Lukáši Prokopovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Centru ENET za možnost využití výzkumné infrastruktury a také své rodině za podporu během celé doby mého studia.

Abstrakt

V této práci je řešen problém akumulace elektrické energie pro ostrovní a poloostrovní systém. Na úvod je popsáno jak systém a jeho dílčí části fungují, jaké jsou jejich parametry a případné využití. V další části práce je navrženo několik variant, které by bylo vhodné na problém akumulace elektrické energie aplikovat. Cílem je zjistit, zda by se mohl elektromobil využít jako přídavný akumulací člen v případě výpadku dodávky elektrické energie od distributora při poloostrovním systému nebo výpadku napájení fotovoltaickými panely při nepříznivém počasí. Dalším cílem je definovat podmínky, za kterých bude objekt nezávislý jak na energii od distributora, tak i na fotovoltaice po dobu tří dnů. Na závěr je provedena cenová kalkulace úspory na akumulátoru v objektu, v závislosti na využití kapacity z elektromobilu, a celková analýza jednotlivých variant.

Klíčová slova

Vehicle to Home, Vehicle to Grid, elektromobil, FVE, Savebox, PVGis, ostrovní systém, poloostrovní systém

Abstract

This thesis deals with the issue of accumulating electric energy for off-grid and on-grid systems. First the system, its parts and operation are described, along with their specifications and possible utilisation. Next part of the thesis suggests a few suitable options Which can be applied to the problem of accumulating electric energy. The main aim is to find out if an electric car can be used as an additional accumulation cell in case of a failure in electric power supplies from the distributor if a peninsular system is concerned or in case of a loss of supplies from photovoltaic panels When the weather is unfavourable. Next task is to define conditions When the object is independent of both the energy from the distributor and the photovoltaics for three days. Finally there is a pricing of saves for an accumulator inside the object, depending on the utilization of the electric car capacity, and analyses of individual options.

Key words

Vehicle to Home, Vehicle to Grid, electric vehicle, FVE, Savebox, PVGis, off-grid system, semi-off-grid system

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam ilustrací

Seznam grafů a tabulek

1	Úvod	1
1.1	Elektromobilita v ČR	1
1.2	Provoz inteligentních sítí	2
1.3	Charakter nabíjení elektrických vozidel.....	3
1.4	Vehicle to Grid.....	4
1.5	Vehicle to Home	5
1.6	Přehled elektrických vozidel	5
2	Popis testovací platformy	10
2.1	Lokalita (PVGis)	10
2.2	Popis modelového domu	11
2.2.1	Jednotlivé komponenty.....	11
2.3	Možnosti nabíjení.....	12
2.3.1	Běžná zásuvka	13
2.3.2	Běžná zásuvka přes speciální kabel.....	14
2.3.3	Nabíjecí stanice AC.....	14
2.3.4	Nabíjecí stanice DC.....	15
2.3.5	Doba nabíjení	15
2.3.6	Srovnání nabíjení AC a DC	16
2.4	Nabíjecí konektory	17
2.5	Druhy nabíjecích stanic.....	18
2.5.1	KEBA 86.878 KeContact	18
2.5.2	ABL eMH1 Basic	18
2.5.3	NRGkick.....	19
2.6	Výjimka Renaultu	20
2.7	Simulátor elektromobilu	20
2.8	Fotovoltaické články	21
2.9	Analýza spotřeby.....	23
2.10	Baterie	24

2.10.1	Kapacita.....	25
2.10.2	Teoretický výpočet.....	25
2.10.3	Savebox	26
3	Návrh testovacích scénářů.....	31
3.1	FVE + AKU	31
3.2	FVE + AKU + EV.....	36
3.3	FVE + AKU + EV ₁ + EV ₂	38
3.4	FVE + EV ₁ + EV ₂	39
3.5	FVE + Tesla model S	40
4	Analýza modelových situací	41
4.1	Srovnání jednotlivých variant	41
4.1.1	Ostrovní systém.....	41
4.1.2	Poloostrovní systém	41
4.2	Ekonomické zhodnocení.....	41
4.2.1	Pořizovací cena.....	41
4.2.2	Provozní náklady.....	42
4.2.3	Návratnost investice	43
	Závěr	47
	Použitá literatura	49

Seznam použitých symbolů a zkratk

Název	Význam
IEA	(International Association for the Evaluation of Educational Achievement) Nezávislé konsorcium národních výzkumných institucí a vládních výzkumných agentur z celého světa
EV	(Electric Vehicle) elektrické vozidlo, elektromobil
MG	(Microgrid) Inteligentní rozvodná síť
Plug-in	Zásuvný modul
RCD	(Residual Current Device)
AC	Střídavý proud
DC	Stejnoseměrný proud
LiFePO ₄	Lithium-železo-fosfátové baterie
BMS	(Battery Management Systém)
MPPT	Regulátor pro fotovoltaickou elektrárnu
NFC	Komunikace s mobilním telefonem
PC	Počítač
TUV	Teplá užitková voda
V2H	(Vehicle to Home) Využití elektromobilu jako akumulčního členu domu
V2G	(Vehicle to Grid) Využití elektromobilu jak akumulčního a stabilizačního členu pro inteligentní síť
DOD	(Depth of Discharge) Využitelná část baterie

Seznam ilustrací

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Mapa nabíjecích stanic v ČR	2
1.2	Obvod nabíječky EV	4
1.3	Názorné schéma systému Vehicle to Grid	5
1.4	Audi A3 e-tron	6
1.5	Mitsubishi Plug-in Hybrid Outlander	6
1.6	BMW i3	6
1.7	Smart ForTwo Electric Drive	7
1.8	Mercedes-Benz B-Class Electric Drive	7
1.9	Renault ZOE	7
1.10	Nissan Leaf	8
1.11	Nissan e-NV200	8
1.12	Tesla Model S	8
1.13	Volkswagen e-Golf	9
1.14	Volkswagen e-up	9
1.15	Kia Soul EV	9
2.1	Roční průměr energie ze slunečního záření v ČR	10
2.2	Proudový chránič pro nabíjecí stanici	11
2.3	Jistič pro nabíjecí stanici	12
2.4	Nabíjení přes běžnou zásuvku	13
2.5	Nabíjení přes nabíjecí kabel	14
2.6	Nabíjení přes AC nabíjecí stanici	14
2.7	Nabíjení přes DC nabíjecí stanici	15
2.8	Nabíjecí poměry pro elektromobil s kapacitou 24 kW·h	16
2.9	Srovnání AC a DC nabíjení	17
2.10	Nabíjecí stanice KEBA 86.878 KeContact	18
2.11	Nabíjecí stanice ABL eMH1 Basic	19
2.12	Mobilní nabíjecí stanice NRGkick	20
2.13	Simulátor elektromobilu	21
2.14	Fotovoltaický modul	22

2.15	Model zapojení systému Savebox HOME	27
2.16	Savebox HOME	27
2.16	Savebox S	27
2.16	Savebox M	27
2.16	Savebox L	27
3.1	Schéma zapojení ostrovního systému	32
3.2	Poměr pravidelně využívané kapacity baterie ku kapacitě záložní	34
3.3	Schéma zapojení poloostrovního systému	35
3.4	Schéma zapojení ostrovního systému V2H s jedním EV	36
3.5	Schéma zapojení ostrovního systému V2H se dvěma EV	38
3.6	Schéma zapojení V2H se dvěma EV bez domovního aku	39

Seznam grafů a tabulek

Číslo grafu	Název grafu	Číslo stránky
1.1	Křivka nabíjecího výkonu	3
1.2	Charakteristika nelineárního odporu R_c	4
2.1	Závislost nabíjecího výkonu na době nabíjení	15
2.2	Doba nabíjení v závislosti na nabíjecím výkonu	16
2.3	Průběh spotřeby energie v domě během týdne	23
2.4	Účast jednotlivých spotřebičů na celkové spotřebě	24
3.1	Závislost vyrobené energie FV systémem na roční době	33

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
2.1	Druhy nabíjecích konektorů	18
2.2	Hodnoty spotřeby energie v domě během týdne	23
2.3	Parametry Savebox HOME 4,5 a 7,5	28
2.4	Cenové kalkulace jednotlivých typů systému Savebox	30
3.1	Hodnoty vypočtené přes program PVGIS pro výkon FVE 3,5 a 4,8 kWp	32
3.2	Výsledky výpočtů pro variantu FVE + AKU	36
3.3	Výsledky výpočtů pro variantu FVE + AKU + EV ₁	37
3.4	Výsledky výpočtů pro variantu FVE + AKU + EV ₁ + EV ₂	39
3.5	Výsledky výpočtů pro variantu FVE + EV ₁ + EV ₂	40
4.1	Pořizovací ceny dílčích komponent	42
4.2	Doba návratnosti pro poloostrovní systém	44
4.3	Doba návratnosti pro ostrovní systém	45
4.4	Doba návratnosti při využití elektromobilu jako akumulčního členu	46

1 Úvod

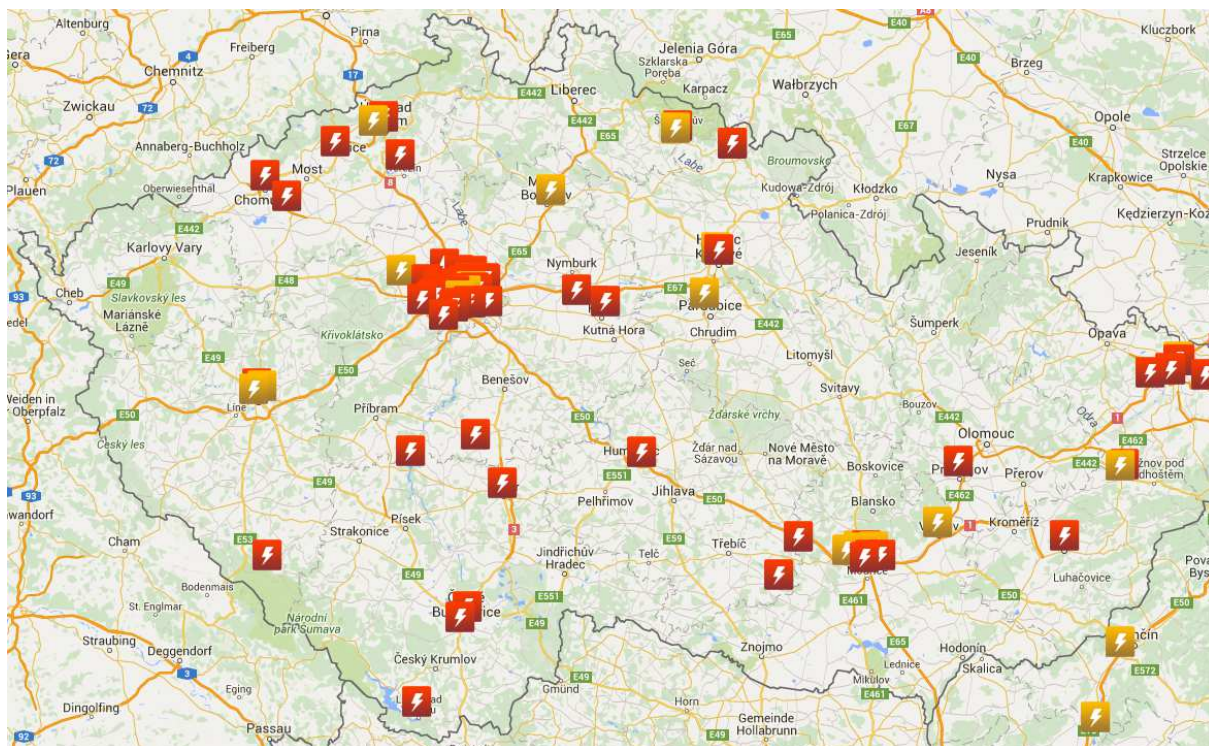
V závislosti na stále se snižujícím množství paliva pro vozidla se spalovacím motorem nastává otázka, jakým způsobem bude nadále fungovat celosvětová osobní doprava. Mimo fakt, že pohonné hmoty postupně docházejí, je zde i problém s velkým množstvím emisí, které tyto vozidla produkují do ovzduší. Jako reakce na tyto hlavní problémy automobilového průmyslu jsou vyvíjeny stále nové technologie s úmyslem vytvořit automobil, jehož hlavní pohonnou složkou by byla elektrická energie, tzv. elektromobil. Nejen že by pokleslo množství emisí, ale podstatně by klesla i hlučnost, kterou mají elektromobily minimální, což by se hlavně ve větších městech podstatně projevilo na našem životním prostředí. Tato vozidla již na trhu ovšem jsou, ale jen ve velmi malém množství. Důvodem, proč dodnes nenastala hromadná výroba pro běžné obyvatelstvo, jsou převážně ekonomického rázu. Je ale také nutno podotknout, že kdyby v dnešní době byly všechny klasické automobily se spalovacím motorem nahrazeny těmi s elektromotorem, nebylo by možné při stávající produkci elektrické energie pokrýt tak markantně zvýšený odběr. Je tedy zřejmé, že tato problematika se bude muset řešit postupně po malých krocích, aby se mohli poskytovatelé elektrické energie patřičně přizpůsobovat. [6]

Za předpokladu globálního rozvoje elektromobilu je možno následně uvažovat o jeho dalším využití. Vznikají návrhy, že by elektromobil nemusel elektrickou energii jen odebírat ze sítě, ale také odevzdávat její přebytečnou část zpět. V této bakalářské práci bude řešen postup, na základě kterého bude využito maximum z energie, kterou lze v elektrických vozech zachovat. Tato přebytečná energie poslouží jako pomocný zdroj pro domy, které fungují na principu ostrovního, nebo poloostrovního systému. Základním zdrojem elektrické energie v takových domech jsou solární panely na střeše domu. Energie získaná tímto způsobem ze slunce, slouží k napájení domu, popřípadě je uskladněna v akumulátorech. V dnešní době je ale tento systém vzhledem např. k pořizovací ceně akumulátorů poměrně finančně neefektivní. Cílem bude zjistit, jestli a do jaké míry by bylo možné zmenšit náklady tak, aby náklady na pořízení akumulačního zařízení byly přijatelné pro běžného uživatele. [6]

1.1 Elektromobilita v ČR

Na začátku roku 2015 činil počet provozovaných elektromobilů v České republice cca 500 vozů. Tato hodnota by se měla podle společnosti ČEZ letos ještě zdvojnásobit, na asi 1000 vozů [14]. Tento počet se každoročně zvyšuje i díky rostoucímu počtu nabíjecích stanic, kterých je v České republice zatím 51, z toho 9 je rychlonabíjecích. ČEZ dále předpokládá, že by zde v roce 2030 mohlo jezdit až čtvrt milionu aut na elektrický pohon. Rozvoj elektromobility v České republice má ale proti západní Evropě několik let zpoždění a je brzděn omezenou nabídkou vozů, malým počtem nabíjecích stanic a také neinformovaností zákazníka o těchto technologiích. [6]

Výrobou elektromobilů se zabývá většina renomovaných výrobců osobních automobilů mimo jiné i značky jako je BMW, Citroën, Fiat, Mercedes, atd. Nejnovější modely elektromobilů patří pod značku TESLA Motors, která plánuje uvést v roce 2017 na trh svůj nejnovější model. [6]



Obr. 1.1: Mapa nabíjecích stanic v ČR [5]

Spotřeba primární energie v celosvětovém měřítku velmi rychle roste, což je zapříčiněno čím dál větším nárůstem populace. Organizace IEA provedla výzkum, ze kterého vyplývá, že v roce 2025 naroste spotřeba primární energie přibližně o polovinu, což je asi 180 000 000 TW·h. [6]

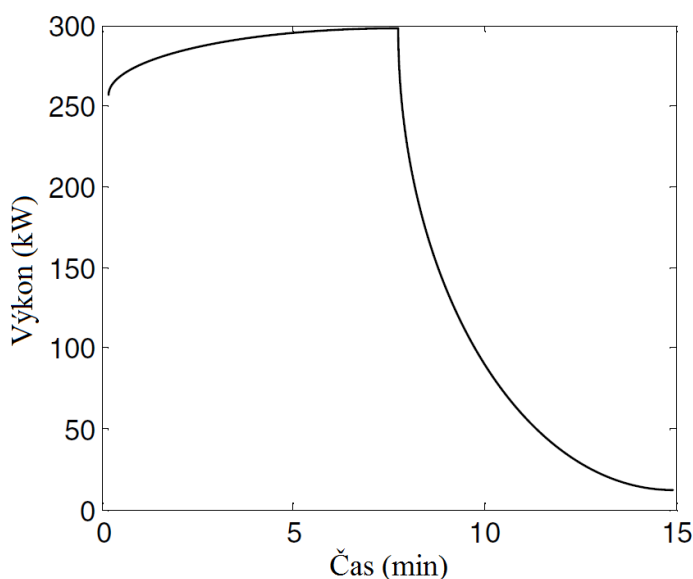
V dnešní době je rozhodující část provozu zaměřena na pohon se spalovacím motorem, tedy hlavní roli v dopravě hraje nyní ropa. Tento fakt přispívá k větší rychlosti jejího vytěžení, jelikož se jedná o neobnovitelný zdroj (neobnovitelným zdrojem je myšleno to, že jej není možné obnovit v nejbližší době, což jsou řádově stovky let). Evropa je velmi závislá na dodávce této suroviny, přičemž jen v dopravě se spotřebuje asi polovina celkového dovezeného množství. Do výroby elektrické energie se časem budou muset zapojit i jiné zdroje jako např. zemní plyn, nebo obnovitelné zdroje. Obnovitelné zdroje jsou teoreticky nevyčerpatelné, ale z praktického hlediska je nelze vždy a všude využít bez omezení, což znamená, že také tyto zdroje jsou lokálně vyčerpatelné. [6]

1.2 Provoz inteligentních sítí

V posledních letech dochází k postupné transformaci tradičního konceptu elektrizační soustavy k modernímu pojetí, které je charakterizováno termínem smart grid. Mezi hlavní charakteristiky patří využití obnovitelných zdrojů elektrické energie, rozšíření elektromobility nebo instalace akumulčních zařízení. Na druhé straně však jsou diskutovány otázky energetické bezpečnosti, rozpadu elektrizační soustavy, provozu mikrosítí nebo ostrovních celků bez trvalého připojení k nadřazené soustavě nebo zvýšení možnosti či rizika black-out. [8]

1.3 Charakter nabíjení elektrických vozidel

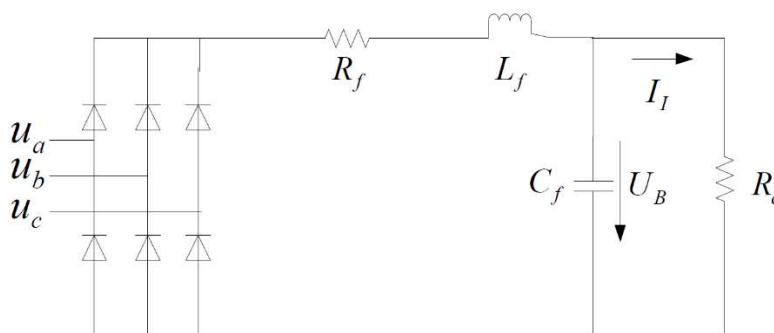
Nabíjecí stanice baterií elektromobilu mohou být klasifikovány jako palubní, nebo jako tzv. off-board nabíjecí stanice, které nejsou integrované a mají obecně vyšší rychlost nabíjení a vyšší nabíjecí kapacitu. Podle některých studií, nezáleží na tom, o jaký typ nabíječky jde, ale vždy bude způsobovat v rozvodné síti harmonické znečištění v důsledku jeho nelineární charakteristiky. V současnosti se obvykle používají pro elektromobily vysokofrekvenční nabíječky. Typická nabíjecí strategie pro řízené nabíjení baterií je dvoufázové nabíjení (konstantní proud / konstantní napětí). Nabíjecí křivka této nabíjecí metody je zobrazena na Graf 1.1. Když je charakteristika v první fázi konstantního proudu, napětí a dobíjecí výkon roste, dokud napětí nedosáhne maxima. Nakonec proud rychle klesá spolu s výstupním výkonem. [8]



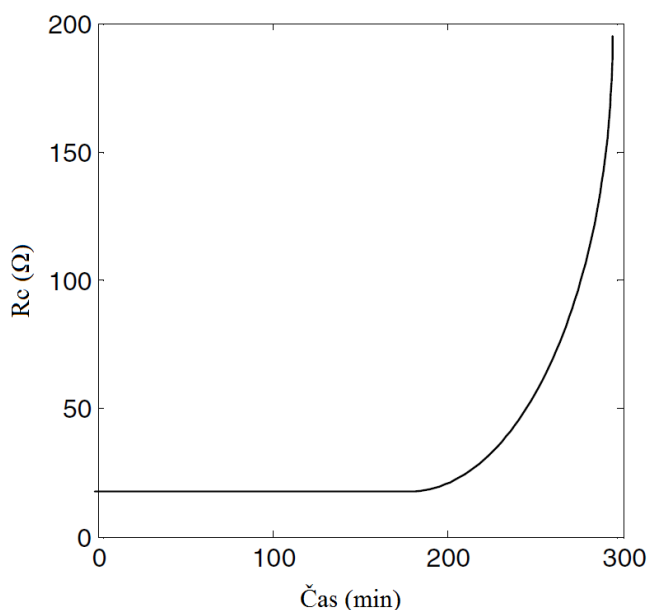
Graf 1.1: Křivka nabíjecího výkonu [8]

Trojfázový proud je usměrněn pomocí trojfázového můstku. Poté je odfiltrován, výkonovým obvodem převeden na vysokou napájecí frekvenci a připraven pro nabíjení elektromobilu. Výkonový měnič a baterie elektromobilu mohou mít odpovídající nelineární odpor R_C , kde η je účinnost nabíjení. Nelineární křivka odporu R_C je uvedena v Graf.1.2. [8]

$$R_C = \frac{U_B}{I_1} = \frac{U_B^2}{P_1} = \frac{\eta U_B^2}{P_o} = \frac{\eta U_B^2}{U_o I_o} \quad [8]$$



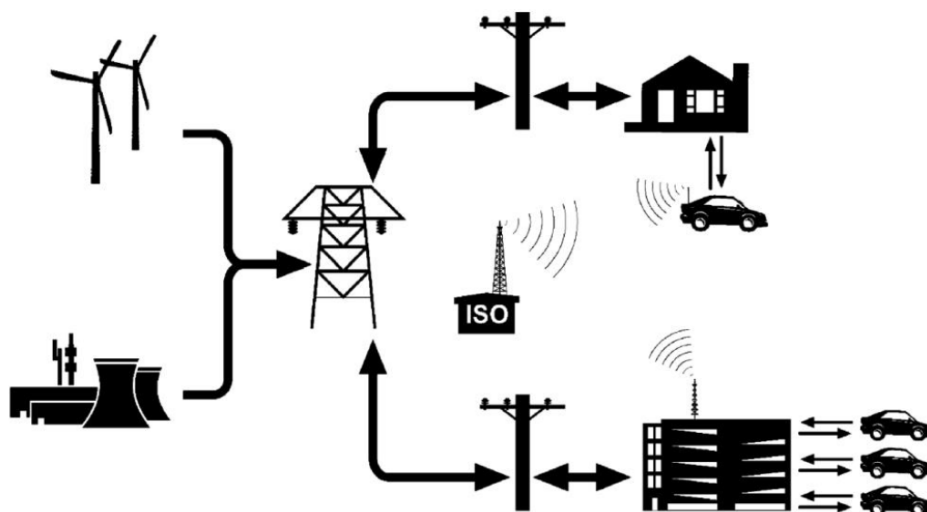
Obr. 1.2: Obvod nabíječky EV [8]

Graf 1.2: Charakteristika nelineárního odporu R_c [8]

1.4 Vehicle to Grid

Značeno také jako V2G je integrace elektromobilu do veřejné rozvodné sítě. Kombinací několika elektrických vozidel do jednoho celku lze snížit nestabilitu sítě. Odměnou za poskytování těchto služeb je snížení celkových nákladů na vozidlo. Elektrická energie je tedy u V2G orientována dvěma směry. Při vysokém tarifu teče energie z elektromobilu do sítě pro pokrytí špiček a zvětšení stability sítě a při nízkém tarifu (např. v noci) je elektrická energie směřována zpět do elektromobilu. Pro takový systém je zapotřebí, aby baterie ve vozidlech měly dostatečně velkou kapacitu, v opačném případě by tento způsob uskladňování energie neměl valný význam. V dnešní době jsou již takové vozy k dostání, tuto vizi by šlo tedy již dnes teoreticky uskutečnit. [2]

Základním principem onoho uzavřeného okruhu je, že distributor elektrické energie vznesle přes agregátor požadavek, který se bude týkat buď uskladnění přebytečné energie a nebo potřeby pokrýt jinou oblast za pomoci uskladněné energie v bateriích EV. Elektrická energie tedy proudí mezi EV, agregátorem a distributorem podle aktuální potřeby, kde agregátor funguje jako velká baterie pro dočasné uskladnění elektrické energie ze všech právě připojených EV. Důležitým prvkem správné funkce tohoto systému je vzájemná komunikace mezi jednotlivými prvky V2G. [2]



Obr. 1.3: Názorné schéma systému Vehicle to Grid [2]

1.5 Vehicle to Home

Značeno také jako V2H je integrace elektromobilu do inteligentního systému domu. Pracuje na podobném principu jako V2G, ale je mnohem jednodušší, neboť je omezen pouze na hospodaření s energií mezi domem a EV, jinými slovy pracuje v tzv. ostrovním režimu. Jelikož jsou ale ostrovní systémy mnohdy neefektivní a využívají se hlavně v místech, kde veřejná síť není dostupná, lze využívat i tzv. poloostrovní systémy, kdy je nedostatek, nebo přebytek energie kompenzován veřejnou sítí. Baterie v elektromobilu ukládá energii podle požadované spotřeby domu v závislosti na zásobování energií z obnovitelných zdrojů zabudovaných v domě. [2]

1.6 Přehled elektrických vozidel

Před uvedením přehledu jednotlivých značek elektromobilů a srovnáním jejich základních vlastností je třeba podotknout, že pro jejich nabíjení existují jistá omezení, která se vztahují na stát, kde je vozidlo provozováno. Německá legislativa nedovoluje jednofázové nabíjení o výkonu větším než 4,6 kW. Tedy nabíjecí výkon musí být omezen na straně elektroinstalace domu. V Austrálii a Švýcarsku je omezení nabíjecího výkonu na 3,7 kW.

Audi A3 Sportback e-tron

Audi A3 e-tron lze nabíjet výkonem až 3,7 kW z nabíjecí stanice. S baterií o kapacitě 8,8 kW·h je dosaženo plného nabití za cca 2,5 hodiny. Podle stylu řízení, roční doby a maximální rychlosti až 130 km/h je dojezd jen při využití elektrické energie asi 50 km. Nabíjení se provádí pomocí zástrčky typu 2 a lze použít také režim 2, kdy je kabel připojen individuálně přes pojistku do domovní zásuvky s 2,3 kW. Zásuvka při individuálním zapojení bude při nabíjení plně zatížena asi 4 hodiny. Pomocí nabíječky specializované pro elektrická vozidla je nabíjení nejen spolehlivější, než u běžné zásuvky, ale i téměř dvakrát rychlejší, s časovou úsporou až 1,5 hodiny. [2]



Obr. 1.4: Audi A3 e-tron [2]

Mitsubishi Plug-in Hybrid Outlander

Mitsubishi Plug-in Hybrid Outlander může být nabíjen výkonem až 3,7 kW z nabíjecí stanice. S baterií o kapacitě 12 kW·h lze dosáhnout plného nabití za cca 3,5 hodiny. Maximální rychlost 120 km/h. Dojezd asi 50 km. Při nabíjení z domovní zásuvky je možné nabíjet výkonem až 2,3 kW, kde doba nabíjení je cca 5,5 hodin. Nabíjení z běžné zásuvky se ale dlouhodobě nedoporučuje jednak z bezpečnostních důvodů a také z důvodu téměř dvakrát menší rychlosti nabíjení. [2]



Obr. 1.5: Mitsubishi Plug-in Hybrid Outlander [2]

BMW i3

BMW i3 lze nabíjet pomocí nabíječky výkonem až 3,7 kW, nebo 7,4 (podle státu). S baterií o kapacitě 18,8 kW·h je dosaženo plného nabití za cca 4,5 hodiny. Plný nabíjecí výkon je však dostupný na veřejné nabíjecí stanici. Maximální rychlost je až 150 km/h. Dojezdová vzdálenost je pro běžného uživatele přibližně 160 km. Je zde ale i verze doplněná spalovacím motorem, která má dojezd 300 km. Tuto vzdálenost ale nelze přirovnávat k ostatním elektrickým vozidlům, neboť se nejedná o čistě elektrický pohon. Napájení lze také provádět přes běžnou zásuvku výkonem 2,3 kW, kdy je baterie v elektromobilu plně nabitá za 7,2 hodiny. [2]



Obr. 1.6: BMW i3 [2]

Smart ForTwo Electric Drive

Smart ForTwo Electric Drive může být nabíjen výkonem 3,3 kW domovní nabíjecí stanicí, nebo lze použít speciální zařízení pro rychlé nabíjení, které bude nabíjet výkonem 22 kW, kdy se baterie o

kapacitě 17,6 kW·h plně nabije za cca 1 hodinu. Maximální rychlost je 125 km/h a dojezdová vzdálenost je asi 145 km. Je možné nabíjení přes obyčejnou zásuvku výkonem 2,3 kW. Doba nabíjení se v tomto případě zvětší na 8 hodin. [2]



Obr. 1.7: Smart ForTwo Electric Drive [2]

Mercedes-Benz B-Class Electric Drive

Mercedes-Benz B-Class Electric Drive lze nabíjet výkonem až 11 kW při použití domovní nabíjecí stanice. Baterie má kapacitu 28 kW·h, která se na plnou hodnotu nabije za asi 3 hodiny. Maximální rychlosti dosahuje asi 160 km/h a dojezdová vzdálenost je něco kolem 200 km. Přidáním speciálního zařízení řady PLUS lze zvýšit dojezd až o 30 km. Nabíjet lze také přes běžnou zásuvku výkonem 2,3 kW, při plném dobití za 12,5 hodin. Nabíjení z nabíjecí stanice je tedy skoro čtyřikrát rychlejší. [2]



Obr. 1.8: Mercedes-Benz B-Class Electric Drive [2]

Renault ZOE

Renault ZOE může být nabíjen výkonem až 22 kW pomocí domovní nabíjecí stanice. Kapacita baterie je 22 kW·h. Doba nabíjení je přibližně 1,5 hodiny. Dojezdová vzdálenost je v rozmezí 115 - 170 km. Maximální rychlost je asi 135 km/h. Podle NEDC (New European Driving Cycle) [15], kterým se měří normovaná spotřeba energie, je možné ujet na jedno nabití až 240 km. Nabíjet lze běžnou zásuvkou o výkonu 2,3 kW, kdy doba nabíjení vzroste na 10 hodin. Zde je tedy nabíjení nabíjecí stanicí 6,5 krát rychlejší než z běžné zásuvky. Renault se od ostatních vozů liší v tom, že si definoval vlastní normy, pokud jde o nabíjení elektrických vozů. [2]



Obr. 1.9: Renault ZOE [2]

Nissan Leaf

Nissan Leaf lze nabíjet domovní nabíjecí stanicí výkonem až 4,6 kW nebo 6,6 kW (podle státu). Baterie mají kapacitu 24 kW·h. Doba dobíjení je něco kolem 5,5 hodin. V Německu je možné nabíjet doma jen výkonem 4,6 kW, tomu také musí být přizpůsobena instalace. Z veřejné nabíjecí stanice je možné nabíjet výkonem 6,6 kW. Maximální rychlost je 145 km/h. Dojezdová vzdálenost je asi 199 km. Nabíjení z běžné zásuvky je možné pouze výkonem 2,3 kW, které trvá 10,5 hodiny. [2]



Obr. 1.10: Nissan Leaf

Nissan e-NV200

Nissan e-NV200 lze nabíjet domovní nabíjecí stanicí výkonem až 4,6 kW nebo 6,6 kW. Kapacita baterie je 24 kW·h. Doba nabíjení je 5,5 hodin. V Německu je omezení na nabíjecí výkon pomocí domovní nabíjecí stanice na 4,6 kW. U veřejné nabíjecí stanice již omezení není. Maximální rychlost je 123 km/h. Dojezdová vzdálenost je asi 167 km. Nabíjení z obyčejné zásuvky je výkonově omezeno na 2,3 kW, kdy je doba nabíjení 10,5 hodin. [2]



Obr. 1.11: Nissan e-NV200 [2]

Tesla Model S

Teslu Model S je možné nabíjet výkonem až 22 kW (jednoduchou nabíječkou 11 kW a dvojitou nabíječkou 22 kW). Kapacita baterie je 85 kW·h. Doba nabíjení je 4,5 hodiny. Maximální rychlost je asi 250 km/h. Dojezdová vzdálenost je přibližně 500 km. Pro model Tesla S se vyvíjí speciální nabíjecí stanice, kdy bude možné i doma nabíjet výkonem 22 kW. Běžnou zásuvkou při výkonu 2,3 kW bude doba nabíjení asi 37 hodin. [2]



Obr. 1.12: Tesla Model S [2]

Volkswagen e-Golf

Volkswagen e-Golf může být nabíjen výkonem až 3,6 kW při nabíjení domovní nabíjecí stanicí. Baterie má kapacitu 24 kW·h. Nabíjecí doba je kolem 7 hodin. Maximální rychlost je 140 km/h. Dojezdová vzdálenost je 190 km. Lze nabíjet z běžné zásuvky výkonem 2,3 kW. Doba nabíjení z běžné zásuvky je asi 11 hodin. [2]



Obr. 1.13: Volkswagen e-Golf [2]

Volkswagen e-up

Volkswagen e-up je možné nabíjet výkonem až 3,6 kW. Baterie má kapacitu 18,7 kW·h. Doba nabíjení je asi 5,5 hodiny. Maximální rychlost je kolem 130 km/h. Dojezdová vzdálenost je asi 160 km. Dobíjení z běžné zásuvky výkonem 2,3 kW trvá přibližně 8,5 hodiny. [2]



Obr. 1.14: Volkswagen e-up [2]

Kia Soul EV

Kia Soul EV může být nabíjena nabíjecí stanicí výkonem až 4,6 kW nebo 6,6 kW (podle státu). Baterie má kapacitu 27 kW·h. Doba nabíjení je asi 6 hodin. Plný nabíjecí výkon, tedy 6,6 kW je vždy dostupný na veřejných nabíjecích stanicích. Maximální rychlost je přibližně 145 km/h. Dojezdová vzdálenost je asi 212 km. Nabíjení z běžné zásuvky výkonem 2,3 kW trvá něco kolem 12 hodin. [2]



Obr. 1.15: Kia Soul EV [2]

2 Popis testovací platformy

Testovací platformou je zde model rodinného domu, který se nachází v místě Ostrava - Poruba. V závislosti na této poloze bude potřeba stanovit parametry slunečního záření v dané lokalitě. Pro tento účel existuje program PVGIS [1], kterým lze stanovit množství energie dopadající na m^2 . Na základě těchto hodnot je možné vypočítat potřebné množství fotovoltaických panelů pro jednotlivé varianty domu.

2.1 Lokalita (PVGis)

PVGis je kalkulačka pro výpočet solární energie pro samostatné fotovoltaické systémy nebo sítě fotovoltaických systémů a elektráren v Evropě, Africe a Asii. Jde o simulaci tvorby solární energie a mapy slunečního záření. Umožňuje zjistit výstupní výkon solárních fotovoltaických panelů za daný čas. Tato aplikace tedy vypočítá například měsíční, nebo roční potenciál pro výrobu elektrické energie fotovoltaického systému v $\text{kW}\cdot\text{h}$ s definovanými náklony a orientací za pomoci vzorce: [1]

$$E = 365 \cdot P_k \cdot r_p \cdot H_h \quad [1]$$

kde je

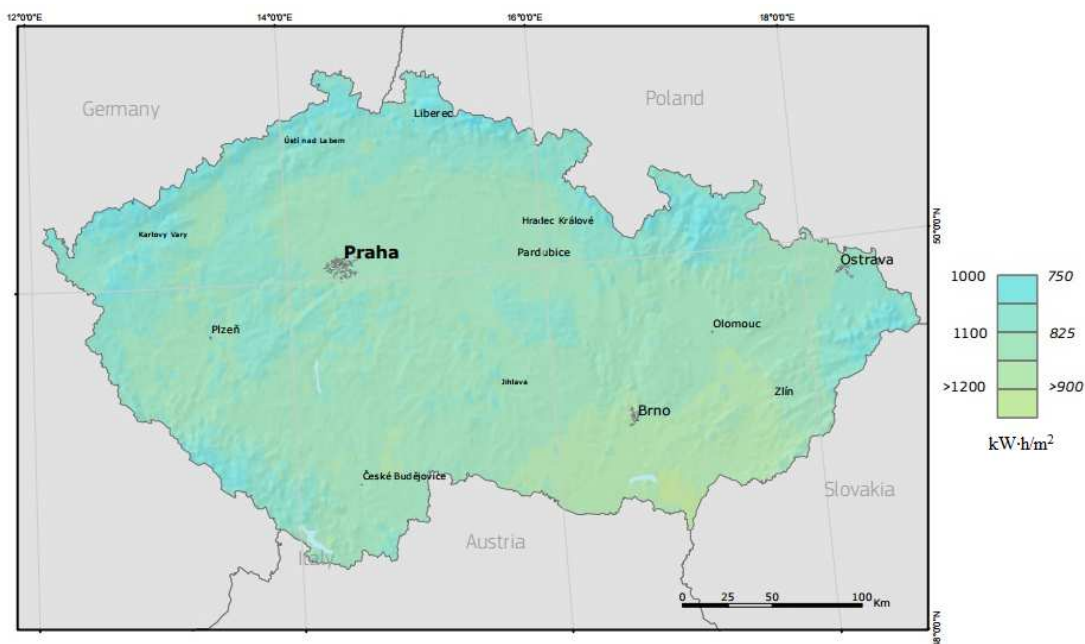
365 počet dní v roce

P_k špičkový výkon

r_p výkonový poměr (typická hodnota u střešního modulu s monokrystalickým, nebo polykrystalickým křemíkem je 0,75)

H_h e měsíční, nebo roční průměr celkového denního ozáření, při horizontálním nebo vertikálním náklonu povrchu [1]

Kalkulačkou lze navrhnout optimální sklon / orientaci fotovoltaických panelů s maximálním odběrem elektrické energie během jednoho roku. [1]



Obr. 2.1: Roční průměr energie ze slunečního záření v ČR [1]

2.2 Popis modelového domu

Zde je třeba předem rozlišit, zda se bude jednat o ostrovní, nebo poloostrovní systém. Na základě toho bude potom vypadat výsledné schéma modelu domu. Jednotlivé varianty se budou odvíjet od požadavků uživatele a jeho finančních možností. Pro představu bude řešen i problém, kdy už bude projekt z ekonomického hlediska nereálný. Je třeba podotknout, že i když je projekt nereálný dnes, neznamená to, že se v budoucnu díky technologickému rozvoji nebude moci uplatnit.

2.2.1 Jednotlivé komponenty

Nabíjecí stanice

Základním prvkem pro komunikaci elektromobilu s domem je nabíjecí stanice. Důležitým faktorem pro instalaci nabíjecí stanice, která zajistí komunikaci vozidla, respektive baterií ve vozidle s domem jsou parametry napájecích kabelů a celkové elektroinstalace domu. Rozměry kabelů napájecí stanice musí být dimenzovány pro požadovaný nabíjecí výkon. V případě jejich nedostatečného průřezu by mohlo dojít k jejich zahřívání a následnému požáru. Při běžném maximálním proudovém zatížení v domovní elektroinstalaci se používají 16A jističe. Kabel je tedy vhodné dimenzovat na průměr 2,5 mm² Cu, nebo více. Aby bylo možno vozidlo nabíjet trojfázově výkonem až 22 kW, je třeba použít pětižilový kabel. Průměr vodičů závisí na faktorech, jako je délka kabelu, okolní teplota a typ instalace. Z těchto důvodů musí instalaci provádět kvalifikovaná osoba. Pokud domovní elektroinstalace není dimenzována na požadovaný nabíjecí výkon, tak nesmí být nabíjecí stanice k domu vůbec připojena. [2]

Proudový chránič

Další podmínkou instalace v domě je, vhodný proudový chránič v rámci nabíjecího výkonu EV, značený jako RCD (Residual Current Device). Proudový chránič je zde, aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem. Funguje tak, že vyrovnává elektrický proud ve fázovém a nulovém vodiči z a do zařízení, kterým je v tomto případě elektromobil. Pokud nejsou tyto proudy vyrovnané, když např. zbytkový proud teče přes karoserii vozu, proudový chránič vybaví a přeruší obvod. Každá nabíjecí stanice musí mít proudový chránič již integrovaný a každý obvod musí být jednotlivě chráněn. [9]



Obr. 2.2: Proudový chránič pro nabíjecí stanici [9]

V zásadě existují tři různé typy proudových chráničů aplikovaných u napájecích stanic. Typ A RCD, typ B RCD a proudový chránič typu A s detekcí zbytkového stejnosměrného proudu. Typ A RCD je standardní proudový chránič, který detekuje pouze určité reziduální proudy. Typ B RCD je citlivý na všechny typy proudu, může tedy detekovat také zbytkové trvalé stejnosměrné proudy, které by mohly nastat při nabíjení elektromobilu. Proudový chránič typu A s detekcí zbytkového stejnosměrného

proudu, byl vyvinut speciálně pro požadavky elektromobility. Je také citlivý na zbytkový kontinuální stejnosměrný proud, ale je podstatně levnější než proudový chránič typu B. [9]

Který z proudových chráničů je zvolen, závisí na instalovaném nabíjecím výkonu. Pokud je použito trojfázové nabíjení (11 kW nebo 22 kW), pak použijeme primárně proudový chránič typu B. Typ A je alternativou, pokud automobilka nemůže zaručit, že obvodem nepoteče větší proud, než 6 mA a je vyžadována detekce zbytkového stejnosměrného proudu. Záleží ovšem na typu vozu, např. pro Renault ZOE musí být nainstalován proudový chránič pro vyšší hodnotu. [9]

Jistič

Další problematikou je volba vhodného jističe. Ten zajišťuje, že pokud obvodem protéká příliš velký proud, dojde k jeho přerušení. Díky tomu je zaručeno, že se kabely vlivem zahřívání při průtoku nadměrného proudu nepoškodí. Stejně jako je tomu u proudového chrániče, je pro okruh nabíjecí stanice vyžadován speciální jistič. [9]



Obr. 2.3: Jistič pro nabíjecí stanici [9]

Jistič musí zvládnout jmenovitý proud při požadovaném nabíjecím výkonu. To představuje potenciální bezpečnostní riziko při instalaci nekvalifikovanou osobou. Musí být hlavně dodrženy všechny existující normy a předpisy pro elektrickou instalaci. Jmenovitý proud zvoleného jističe nesmí nikdy klesnout pod úroveň, která je uvedena na štítku nabíjecí stanice. Výrobci většiny dobíjecích stanic doporučují jističe s vypínací charakteristikou C. [9]

U varianty, kdy bude elektromobil nabíjen přímo z klasické domovní zásuvky je potřeba omezit nabíjecí výkon asi na 2,3 kW. Vzhledem k době nabíjení, která u této varianty může dosahovat i 12 hodin, musíme vyhodnotit, zda se elektroinstalace nezačne nadměrně zahřívat. Klasický domovní jistič, určený pro zásuvkový okruh je dimenzován na hodnotu 16 A jmenovitého proudu. Vedení je pak dimenzováno na minimální průřez 2,5 mm². Pokud při nabíjení elektromobilu poteče jističem ustálený proud, který nepřesáhne jmenovitou hodnotu, nedojde k automatickému rozpojení obvodu. Dlouhodobá zátěž jističe hodnotou proudu blízcímu se jmenovité hodnotě bude ale způsobovat jeho stabilní oteplení a může docházet k degradaci tepelné spouště. Jinými slovy, jistič obvod při dlouhodobém nabíjení nepřeruší, ale zkrátí se životnost některých jeho částí. [9]

2.3 Možnosti nabíjení

Dneska je možné nabíjet elektromobil více způsoby. Primárně se používají různé druhy nabíjecích kabelů, které mohou být buď napevno připevněny k nabíjecí stanici u varianty nabíjení stejnosměrným proudem, nebo jsou oba konce kabelu opatřeny standardizovanými konektory a kabel je tedy u varianty nabíjení střídavým proudem přenosný. Další možnost nabíjení je pomocí

elektromagnetické indukce. Poslední možnost je vyjímatelná baterie. Nutno podotknout, že poslední dva způsoby, hlavně výměna baterie se téměř nepoužívají ať už z praktických, nebo ekonomických důvodů. [11]

Jak již bylo uvedeno, elektromobil lze nabíjet stejnosměrným (DC), nebo střídavým (AC) proudem. Od toho se pak odvíjí způsob řešení elektroinstalace v domě i v samotném vozidle. Pokud je zvolena varianta DC nabíjení, tak je usměrňovač umístěn v nabíjecí stanici. Toto řešení je výhodné zejména proto, že ušetří prostor ve vozidle, neboť s rostoucím výkonem nabíjení rostou i rozměry usměrňovače. Z toho vyplývá, že AC nabíjení je vhodné jen pro pomalou rychlost nabíjení při nízkém výkonu. U DC nabíjení tento problém řešit nemusíme, je proto vhodné pro vysoké nabíjecí rychlosti o vysokém výkonu. [10]

Pro obě varianty nabíjení byly navrženy rozmanité druhy konektorů a několik variant režimu nabíjení. Je snahou vytvořit celosvětový standard pro konkrétní tvar konektoru, ale to je spíše otázka budoucnosti. [11]

Způsob nabíjení je závislý na hodnotě nabíjecího výkonu, který podléhá průřezu nabíjecího kabelu, jeho izolace a domovní elektroinstalaci. Existují čtyři základní způsoby nabíjení, které se dělí podle nabíjecí rychlosti a odpovídajících bezpečnostních opatření. [11]

2.3.1 Běžná zásuvka

Je to nejpomalejší možnost nabíjení elektromobilu s vysokou mírou rizika jak ze strany domovní elektroinstalace, tak ze strany vozidla, neboť zde nejsou instalovány žádné bezpečnostní prvky pro zamezení poškození zařízení, nebo případného požáru. Nabíjecí výkon se uvádí maximálně 2,3 kW za předpokladu přítomnosti jističe pro proud 16 A. Tento jistič se běžně používá při elektroinstalaci pro zásuvkové okruhy. Nabíjecí proud přitom standardně dosahuje z bezpečnostních důvodů jen asi 10 A. Domovní elektroinstalace by za předpokladu jejího užití pro nabíjení elektromobilu měla splňovat základní bezpečnostní předpisy. Je to nejlevnější řešení, kterého lze za daných podmínek dosáhnout. Mělo by ale být pouze dočasným řešením, např. při koupi nového vozu. Existuje zde totiž několik zásadních omezení, na základě kterých byly vyvinuty specifické systémy pro napájení. [11]



Obr. 2.4: Nabíjení přes běžnou zásuvku [11]

Omezení

- narůstající teplota elektroinstalace a jejich přidružených zařízení při dlouhodobém přetěžování vysokými proudy (doba nabíjení až 12 hodin)
- riziko vzniku požáru v důsledku zastaralé, nebo nedostatečně chráněné elektroinstalace
- z předchozích omezení vyplývá nutnost omezit výstupní výkon nabíječky na bezpečnou hodnotu
- riziko nežádoucího vybavení ochrany v důsledku sdílení nabíjecího okruhu s dalšími spotřebiči a následného přerušení nabíjení elektromobilu [11]

Je třeba brát v potaz, že klasické zásuvky jsou sice dimenzovány na určitý maximální proud, ale problém nastane, pokud budou takové zátěži vystaveny po delší dobu. Standardní doba zatížení domovní zásuvky maximálním proudem se uvádí přibližně jedna hodina. Klasické spotřebiče většinou neodebírají tak velký proud a pokud ano, tak po velmi krátkou dobu. Jsou využívány nepravidelně a vznikají tedy časové intervaly pro odvod ztrátového tepla do okolí. Aby se zamezilo oteplení při dlouhodobé zátěži, viz. nabíjení elektromobilu je nutně proud omezit na výše zmíněných 10 A, aby bylo potlačeno riziko vzniku požáru. [11]

Standard NF-C-15100 [16] udává maximální výkon kterým lze zatěžovat vedení o průřezech 1,5 a 2,5 mm², tedy běžné domovní rozvody. Pro průřez vodiče 1,5 mm² je to 3,7 kW a pro průřez vodiče 2,5 mm² je to 5,7 kW. Jedná se o výkony maximální, zatížení tedy nesmí být trvalé. [11]

2.3.2 Běžná zásuvka přes speciální kabel

Je velmi podobný předchozímu způsobu nabíjení, s tím rozdílem, že jsou zavedena některá bezpečnostní opatření. Pro nabíjení se zde využívá normovaný kabel, který má schopnost měřit aktuální nabíjecí výkon a velikost proudu, kterým je elektromobil nabíjen. Obsahuje také různé bezpečnostní prvky, které chrání uživatele před úrazem elektrickým proudem. [11]



Obr. 2.5: Nabíjení přes nabíjecí kabel [11]

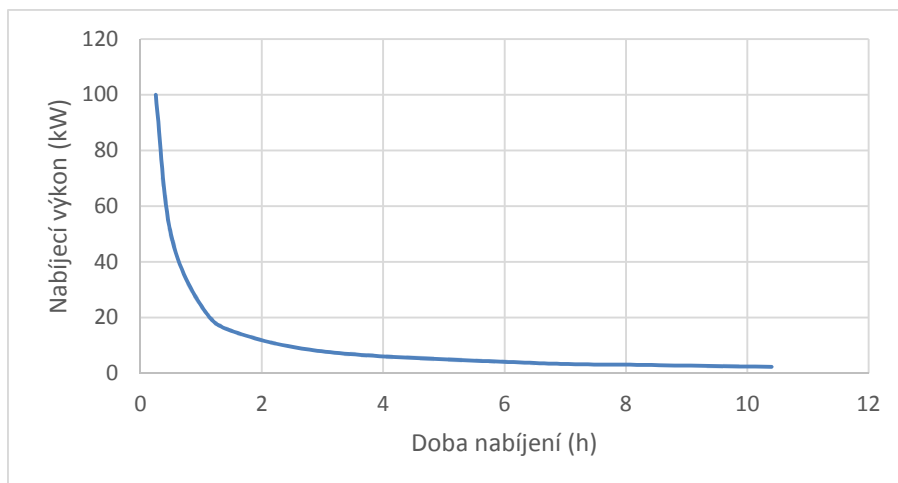
2.3.3 Nabíjecí stanice AC

Tento způsob využívá speciální nabíjecí stanici, která umožňuje přenášet energii z domu do elektromobilu a naopak. Systém elektroinstalace domu a vozidla mezi sebou tedy obousměrně komunikují. Mimo jiné lze také na rozdíl od předchozích způsobů měnit výkon, kterým chceme elektromobil nabíjet a tedy i rychlost samotného nabíjení, která úměrně klesá s rostoucím výkonem. Vlastní nabíječka se zde nachází přímo ve vozidle. Díky tomu bývá často označována jako palubní. Výhodou je potom zjednodušení nabíjecí stanice a tudíž i více možností, kde elektromobil nabíjet. [11]



Obr. 2.6: Nabíjení přes AC nabíjecí stanici [11]

Dle závislosti nabíjecího výkonu na době nabíjení je patrné, že lze elektromobil nabíjet do 80% velmi rychle, dále se už doba nabíjení velmi prodlužuje. [11]



Graf. 2.1: Závislost nabíjecího výkonu na době nabíjení [11]

2.3.4 Nabíjecí stanice DC

Jedná se o tzv. rychlonabíjecí stanici. Nabíjení je na rozdíl od předchozího případu prováděno přes externí nabíječku. Nabíjecí stanice již tedy obsahuje prvky pro převod střídavého proudu na stejnosměrný a naopak. Tyto stanice musí kvůli bezpečnosti splňovat veškeré požadavky dané normou ČSN EN 61851-1 [17]. Výhodou těchto stanic je i snadná regulace nabíjecího výkonu podle potřeby uživatele. Tyto nabíjecí stanice jsou také vhodné pro realizaci V2G systému, neboť lze regulovat nabíjecí výkony na základě potřeby distributora. [11]



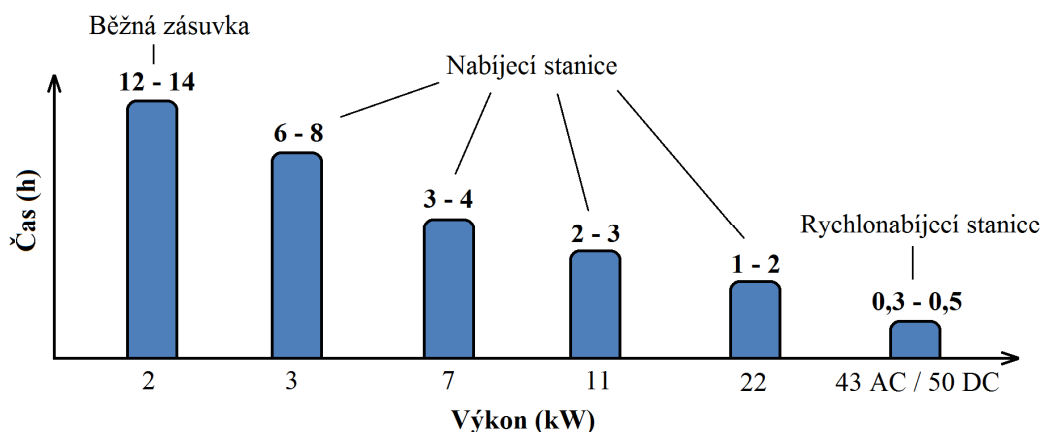
Obr. 2.7: Nabíjení přes DC nabíjecí stanici [11]

2.3.5 Doba nabíjení

Doba nabíjení je primárně závislá na výkonu, kterým je elektromobil nabíjen. Tyto hodnoty se mohou pohybovat od 2 kW při nabíjení z běžné zásuvky až po 50 kW při nabíjení standardizovanou nabíjecí stanicí. Regulaci nabíjecího výkonu provádí tzv. řídicí vodič, který umožňuje vzájemnou výměnu informací mezi elektromobilem a nabíjecí stanicí, která začne nabíjet pouze v případě dostupnosti následujících informací: [11]





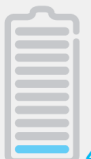


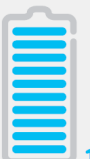
- potvrzení o připojení elektromobilu
- uzemnění elektromobilu
- maximální výkon pro nabíjení podle aktuální konfigurace (kabel, nabíjecí stanice a nabíječka) [11]

V následujícím obrázku bude pro představu uveden přehled jednotlivých nabíjecích časů v závislosti na nabíjecím výkonu. Výkon nabíjení závisí na nejslabším článku v konfiguraci, např. pokud je elektromobil nabíjen z běžné zásuvky, je tato zásuvka nejslabším článkem. Pokud budeme nabíjet elektromobil přes veřejnou nabíjecí stanici pomocí vlastního kabelu, je zde nejslabším článkem kabel. Z toho vyplývá, že i když bude stanice schopna nabíjet výkonem až 22 kW, ale kabel bude dimenzovaný jen na 7 kW, logicky nelze tuto hranici překročit. [11]



Graf. 2.2: Doba nabíjení v závislosti na nabíjecím výkonu. [10]

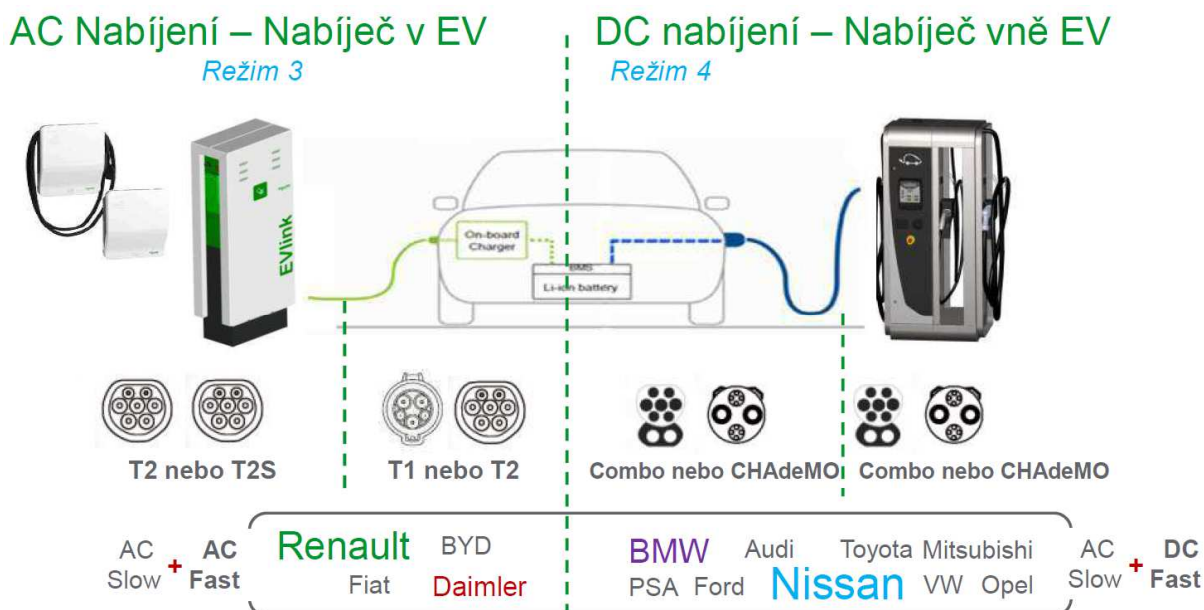
Jako příklad uvedu nabíjení elektromobilu s baterií o kapacitě 24 kW·h, přičemž provedu srovnání úrovně nabití během nabíjecí doby 30 min a celkovou dobu nabíjení pro dosažení 100% úrovně nabití. Tyto poměry jsou vyobrazeny na Obr. 2.8. [11]

Typ zásuvky	Domovní zásuvka	Vyhrazená AC zásuvka		Vyhrazená DC zásuvka
Výkon	1fáz.: 2 kW	1fáz.: 7 kW	3fáz.: 22 kW	3fáz.: 43 kW
100% úroveň nabití	 12 h	 5 h	 1 h 30 min	 30 min
%úroveň nabití za 30 min	 4 %	 10 %	 34 %	 100 %

Obr. 2.8: Nabíjecí poměry pro elektromobil s kapacitou 24 kW·h [10]

2.3.6 Srovnání nabíjení AC a DC

Každá značka se trochu liší v tom, jaký typ konektoru lze při nabíjení využít, což je velmi nepraktické. Je zde tedy snaha o zavedení jednotného celosvětově standardizovaného typu konektoru, který by vyhovoval všem výrobcům EV. Odlišnosti jsou také v tom jakým způsobem je možné vozidlo nabíjet. Toto přibližné rozdělení je znázorněno na Obr. 2.9. Uzpůsobení vozu pro DC rychlonabíjení je vzhledem ke konstrukci elektromobilu finančně nákladnější. Užívá tedy převážně u vozů vyšší třídy. [11]

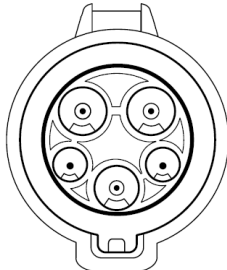
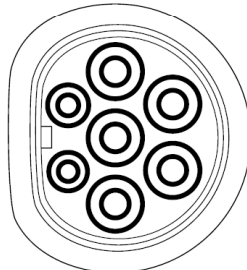
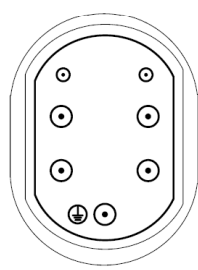


Obr. 2.9: Srovnání AC a DC nabíjení. [11]

2.4 Nabíjecí konektory

Konektory se dělí hlavně podle tvarového provedení, podle druhu napájecího napětí a maximálního dovoleného proudu. Jejich rozdíly jsou patrné v závislosti na státu, kde se užívají. V dnešní době neexistuje žádný typ, který by vyhovoval normám všech států, kde se tato technologie užívá. V Tab. 2.1 je uveden přehled základních konektorů, které se používají. [10]

Tab. 2.1: Druhy nabíjecích konektorů [10]

Parametry	Type 1	Type 2	Type 3
Fáze	1-fáz.	1-fáz. / 3-fáz.	1-fáz. / 3-fáz.
Proud	32 A	70 A (1-fáz.) 63 A	32 A
Napětí	250 V	500 V	500 V
No. of prongs	5	7	5 or 7
Zaslepovací zařízení	Ne	Ne	Ano
Schéma			

2.5 Druhy nabíjecích stanic

2.5.1 KEBA 86.878 KeContact

- Nabíjecí výkon 2,3 - 22 kW
- Stupeň krytí IP54
- Délka kabelu 4 m
- Jmenovitý proud 10 A, 13 A, 16 A, 20 A, 25 A nebo 30/32 A
- Napětí 3 x 230/400 V
- Komunikace IEC 6185-1, Režim 3
- Ochranné prvky RCCB s DC detekcí, pojistka (FI) typ B
- Normy a směrnice

Směrnice: 2004/108/EG, 2006/95/EG, 1999/5/EC R&TTE, 2011/65/EU | Evropské normy: EN 61851-1, EN 61851-22, EN 62196-1, EN 62196-2, EN 61439-1, E DIN EN 61439-7, EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 50581:2012 (RoHS-RL) RFID: EN 301 489-1, EN 301 489-3, EN

- Provozní teplota 16 A: -25 až +50 °C; 32A: -25 až +40 °C
- Dovolená vlhkost max. 95 %
- Z.E. READY Certifikace
- Integrovaný nabíjecí kabel
- Doba nabíjení 1 hodina (při max. výkonu) [2]



Obr. 2.10: Nabíjecí stanice KEBA 86.878 KeContact [2]

2.5.2 ABL eMH1 Basic

- Nabíjecí výkon 2,3 - 22 kW
- Stupeň krytí IP54
- Délka kabelu 5 m
- Doba nabíjení 1 hodina (při max. výkonu)
- Jmenovitý proud 32A
- Napětí 3 x 230/ 400 V
- Komunikace IEC 6185-1, Režim 3
- Ochranné prvky RCCB s DC detekcí, pojistka (FI) typ B

- Normy a směrnice IEC 61851-1 Ed 2.0:2010
- Provozní teplota -30 až +85 °C
- Dovolená vlhkost 5 - 95 %
- Neobsahuje Z.E. READY Certifikaci
- Integrovaný nabíjecí kabel [2]



Obr. 2.11: Nabíjecí stanice ABL eMH1 Basic [2]

2.5.3 NRGkick

- Nabíjecí výkon 2,3 - 22 kW
- Stupeň krytí IP66
- Délka kabelu 5 m
- Doba nabíjení 1 hodina (při max. výkonu)
- Jmenovitý proud 32A
- Napětí 400 V
- Komunikace IEC 61851-1, Režim 2
- Ochranné prvky DC proudový snímač
- Normy a směrnice

Směrnice: 2004/108/EG, 2006/95/EG, 1999/5/EC R&TTE, 2011/65/EU

Evropské normy: EN 61851-1, EN 61851-22, EN 62196-1, EN 62196-2, EN 61439-1, EN 61439-7, EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 50581:2012 (RoHS-RL) RFID: EN 301 489-1, EN 301 489-3, EN

- Provozní teplota -30 až +85 °C
- Dovolená vlhkost 5 - 95 %
- Neobsahuje Z.E. READY Certifikaci
- Mobilní nabíjecí kabel [2]



Obr. 2.12: Mobilní nabíjecí stanice NRGkick [2]

2.6 Výjimka Renaultu

Všechny elektrická vozidla Renault lze nabíjet pouze Z.E. READY certifikovanou stanicí. Renault stanovil totiž své vlastní normy týkající se právních směrnic. U všech elektrických vozů Renault, jakož i jejich model ZOE nemůže výrobce zaručit tok přímého proudu menšího jak 6 mA. Proto vytvořil z bezpečnostních a záručních důvodů svůj vlastní standard Z.E. READY pro nabíjení elektromobilů. [2]

Během instalace je důležité brát v potaz následující technické pokyny pro Z.E. READY.

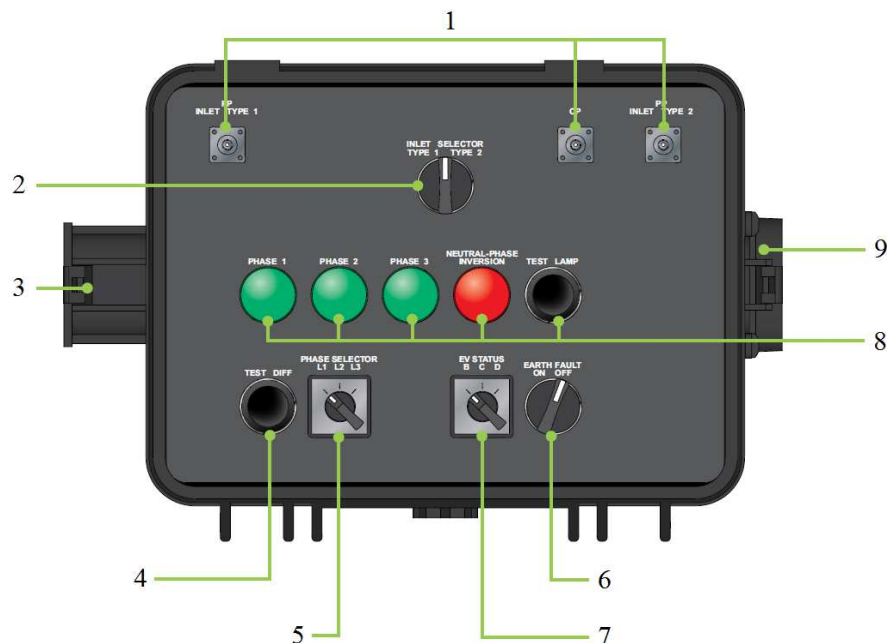
- Samostatný proudový chránič typu B integrovaný do nabíjecí stanice nebo v domovní instalaci v každém bodě nabíjení
- Standardizovaná zásuvka typu 2 v souladu s DIN EN 62196-2 VDE 0623-5-2:2014-12
- Značka CE a typ testu podle normy IEC 61851-1
- Eliminace přetížení připojených nabíjecích kabelů přes nabíjecí infrastrukturu
- Stupeň ochrany nejméně IP54 vč. IPxxD
- Kontrola nabíjecího proudu, prostřednictvím řídicího signálu na základě IEC 61851
- Instalace certifikovaným elektrikářem [2]

2.7 Simulátor elektromobilu

Jde o zařízení o hmotnosti asi 6 kg pro kontrolu správné funkce nabíjecí stanice, která vyhovuje IEC 61851-1 [18]. Slouží pro připojení a testování konektoru typu T1 a T2 při jednofázovém, nebo třífázovém AC nabíjení. Kontrola je uskutečněna během několika minut a výsledky jsou viditelné okamžitě na simulátoru a nabíjecí stanici. Napájení simulátoru je přivedeno nabíjecím kabelem, odpadá tak nutnost vlastní baterie zařízení. Při simulaci je možné provést kontrolu případné záměny středního a fázového vodiče. Je možné také provést zkoušku vypnutí proudového chrániče, kontrolu velikosti a typu nabíjecího kabelu zákazníka a kontrolu řídicích vodičů nabíjecího kabelu. [11]

Vlastnosti:

- frekvence: 50 Hz
- uzemňovací soustava: TT nebo TN (nepoužívat v soustavě IT)
- napětí: 230 V AC pro konektor typ T1, 400 V AC pro konektor typ T2
- zkušební nabíjecí proud: 1 A
- stupeň krytí: IP54 (uzavřené víko), nebo IP44 (otevřené víko)
- stupeň mechanické ochrany: IK8 [11]



Obr. 2.13: Simulátor elektromobilu [11]

- 1 konektory BNC: měření odporu konektoru nabíjecího kabelu, sledování průběhu proudu a komunikačních signálů PWM na osciloskopu
- 2 volba typu konektoru
- 3 konektor typu T1
- 4 kontrola vypnutí proudového chrániče
- 5 volba testovací fáze
- 6 kontrola poruchy uzemnění na elektromobilu
- 7 simulace signálu z elektromobilu
- 8 signálky pro diagnostiku: fáze 1,2,3, záměna fázového a středního vodiče
- 9 konektor typu T2

2.8 Fotovoltaické články

Fotovoltaika je přímá přeměna světla na elektrickou energii na atomární úrovni. Některé materiály vykazují vlastnost známou jako fotoelektrický jev. Vstřebávání fotonů světla způsobuje uvolnění elektronů. Vzniká elektrický proud, který lze využít pro odběr elektřiny. [3]

Fotoelektrický jev nejprve uvedl francouzský fyzik Edmund Becquerel v roce 1839, který zjistil, že určité materiály produkují malé množství elektrického proudu, když jsou vystaveny světlu. V roce 1905 popsal Albert Einstein podstatu světla a fotoelektrických účinků, na které je založena fotovoltaická technologie. Díky tomu později získal Nobelovu cenu za fyziku. První fotovoltaický modul byl postaven v Bellově laboratoři v roce 1954. Byl označován jako solární baterie, ale vzhledem k vysoké ceně sloužil převážně k výzkumným činnostem. V roce 1960 byla tato technologie poprvé použita na palubě kosmické lodi. Prostřednictvím vesmírného programu tato technologie velmi rychle pokročila, zvětšila se spolehlivost a začala klesat cena. Během energetické krize v roce 1970 bylo možné fotovoltaickou technologii využívat i mimo vesmírné aplikace. [3]

Solární články jsou vyrobeny z křemíku, tedy ze stejného druhu materiálu, jaký se používá v průmyslu u mikroelektroniky. Solární článek je tvořen tenkým polovodičovým plátkem, který je speciálně upraven pro vytvoření elektrického pole. Toto pole je na jedné straně kladné a na druhé záporné. Když světelná energie dopadá na solární článek, elektrony uvolněné z atomu se koncentrují v polovodičovém materiálu. Pokud jsou elektrické vodiče připojeny ke kladné a záporné straně, vytvoří uzavřený obvod a začne protékat elektrický proud. [3]

Řada solárních článků je elektricky vzájemně spojena a namontována na nosné konstrukci nebo rámu, což se jako celek nazývá fotovoltaický modul. Moduly jsou navrženy tak, aby dodávaly energii při určitém napětí, běžně je to 12 V. Produkovaný proud je přímo závislý na množství světla, které na modul dopadá. Dnešní nejběžnější fotovoltaická zařízení používají jeden PN přechod, nebo rozhraní pro vytvoření elektrického pole uvnitř polovodiče, jako například PV buňky. Jedině fotony, jejichž energie je rovna nebo větší než zakázané pásmo použitého polovodiče můžou v jednoduchém uzlu PV buňky uvolnit elektron v elektrickém obvodu. Jinými slovy je fotovoltaická odezva buněk omezena na část slunečního spektra, jehož energie je nad zakázaným pásmem absorbujícího materiálu a fotony s nižší energií nejsou využity. [3]

Způsob jak obejít toto omezení je použití dvou, nebo více různých buněk s více než jedním odstupem mezi pásmy a více než jednoho uzlu pro generování napětí. Můžeme pak mluvit o víceuzlových systémech, kaskádách, nebo tandemech buněk. Víceuzlové zařízení dosahuje celkově vyšší účinnosti konverze, protože může převést více energetického spektra na elektřinu. Takové buňky jsou při koncentrovaném slunečním světle schopny dosahovat účinnosti až 35 %. [3]



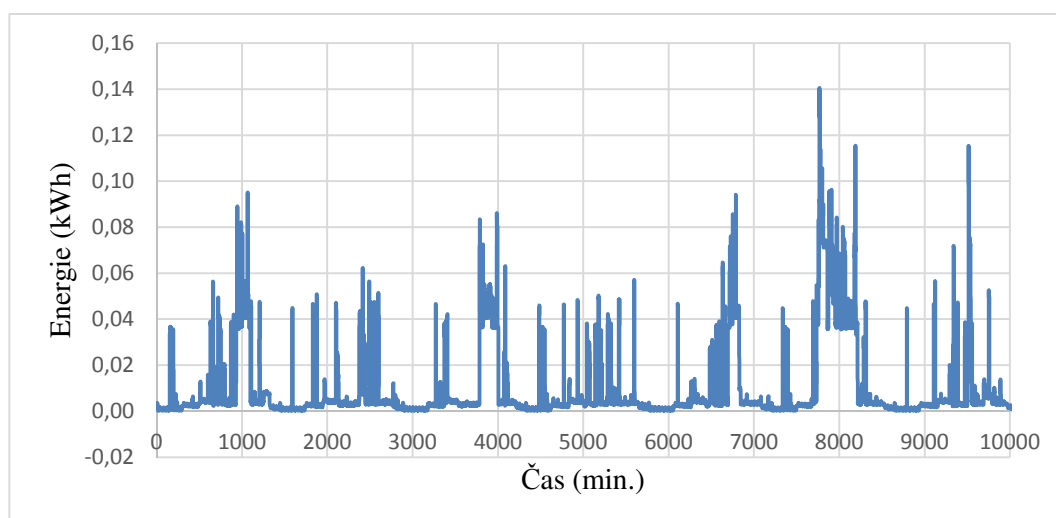
Obr. 2.14: Fotovoltaický modul [3]

2.9 Analýza spotřeby

Pro analýzu spotřeby byl zvolen týdenní testovací vzorek spotřeby domu. Měření bylo prováděno každou minutu. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 2.2: Hodnoty spotřeby energie v domě během týdne

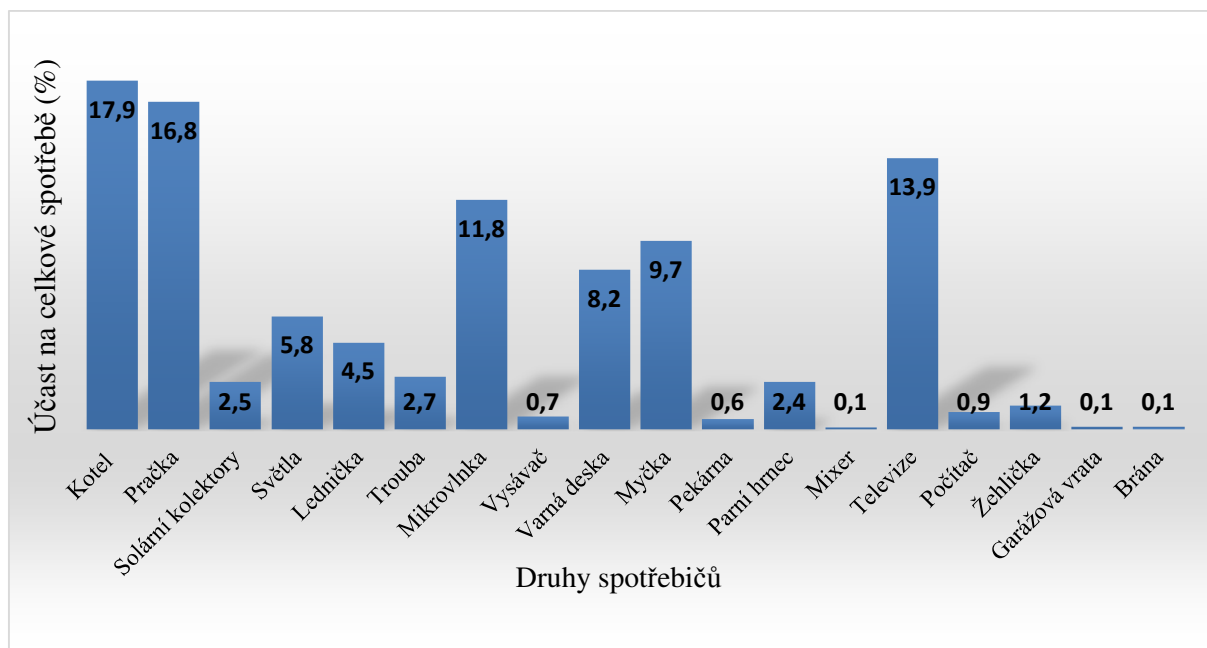
Spotřeba energie za týden		Spotřebič	Spotřeba (W·h)
Den	Energie (kW·h)		
Pondělí	17,33	Kotel	684,7
Úterý	7,89	Pračka	643,8
Středa	14,83	Solární kolektory	93,9
Čtvrtek	9,94	Světla	222,4
Pátek	13,65	Lednička	171,0
Sobota	11,54	Trouba	103,2
Neděle	8,87	Mikrovlnka	450,4
Průměr	12,01	Vysávač	25,9
Celkem	84,05	Varná deska	313,8
		Myčka	370,7
		Pekárna	21,2
		Parní hrnec	93,6
		Mixer	1,2
		Televize	532,6
		Počítač	34,9
		Žehlička	47,6
		Garážová vrata	5,2
		Brána	5,6



Graf 2.3: Průběh spotřeby energie v domě během týdne

V celkové spotřebě hrají roli jednotlivé spotřebiče, které jsou v domě instalovány a jsou nutné pro standardní provoz domu včetně osvětlení, garážových vrat, nebo ovládání brány. Spotřebiče, které

se do domu chystáme instalovat, by měly mít pokud možno co nejvyšší účinnost. U daného vzorku spotřeby domu je zřejmé, že byla volba spotřebičů provedena bez ohledu na tuto skutečnost. Z toho lze vyvodit, že při adekvátních změnách by mohlo dojít k výrazným úsporám za energii, které jsou pro realizaci ostrovního systému rozhodující. Spolu s realizací potřebných úspor již zavedeného systému také úzce souvisí další finanční výdaje spojené s pořízováním nových spotřebičů, nebo zateplováním domu. Odběr jednotlivých spotřebičů vyjádřený procentuálně je uveden v Graf 2.4.



Graf 2.4: Účast jednotlivých spotřebičů na celkové spotřebě

2.10 Baterie

První co má vliv na kapacitu baterie je to, jestli je vyžadován čistě ostrovní systém, nebo je snaha jen využít energii z fotovoltaických panelů a případně nedostatek kompenzovat z veřejné sítě. V případě nedostatku energie ji od obchodníka s energií koupíme, ideálně v tom nejlevnějším tarifu, a pokud je zase energie nadbytek, prodáváme ji zpět distributorovi. Od toho, který systém je zvolen se pak odvíjí postup výpočtu kapacity baterií. Při cenové kalkulaci pak počítáme s tím, že nejnovější typy baterií jsou schopny provést něco kolem 4000 cyklů, což odpovídá životnosti asi 10 let, tedy poloviční než fotovoltaické panely.

Při výpočtu pro čistě ostrovní systém musíme v každém případě určit přesnou spotřebu, tedy kolik kW·h je denně spotřebováno na celý provoz domu. Dále se musí vzít v potaz, že fotovoltaické panely např. tři dny budou dodávat pouze 5-10% energie při nepříznivém počasí. Celková spotřeba domu bude v takovém případě hrazena pouze z baterie. Je třeba podotknout, že není uvažována celková kapacita baterie, ale jen její využitelná část. DOD (Depth of Discharge) nejnovějších typů baterií pro tento účel dosahuje až 95 % z celkové kapacity, jedná se o tzv. baterie LiFePO₄ (lithium-železo-fosfátový akumulátor).

Pomocí programu PVGIS určíme, kolik vyrobí fotovoltaické panely kW·h/m² v průběhu roku v požadované oblasti. Na základě toho zhodnotíme, jestli je zvolené množství panelů schopno nabít baterii. Pokud ne, je zapotřebí přidat více panelů. Je to limitováno pouze rozměrem střechy a

samozřejmě cenou panelů, za předpokladu jejich odhadované životnosti 20 let. Důsledkem nedostatku místa pro fotovoltaické panely může nastat stav, kdy nejsou po velmi dlouhou dobu schopny plně nabít baterii. V takovém případě je nutné zavést tzv. poloostrovní systém, kdy je nutné čas od času dodat energii z veřejné sítě. [7]

2.10.1 Kapacita

Množství elektrické energie je uváděno v ampérhodinách (A·h). A·h znamená v podstatě velikost proudu, který proteče uzavřenou smyčkou za hodinu. Za předpokladu, že není proud ustálený, počítá se s jeho střední hodnotou. Kapacita je vlastně elektrická energie, kterou je možné opakovaně dodávat. Zjednodušeně ji lze vyjádřit vzorcem: [7]

$$Q = I_v t_v \quad (\text{A} \cdot \text{h}) \quad (2.1)$$

kde je

I_v proud, který prochází při vybíjení (A)
 t_v je vybíjecí čas (hod.)

2.10.2 Teoretický výpočet

Pro přesný výpočet by bylo potřeba znát mnoho dalších parametrů jako např. koeficient využití, který je u každého spotřebiče dán výrobcem. Dále je při výpočtu důležité, jaký je zvolen typ měniče. Jelikož bude systém tvořen z komplexních bloků, které již měnič obsahují, nelze tento faktor již nijak ovlivnit. [7]

Pro hrubou představu potřebné plochy pro solární panely, za předpokladu napájení jen z FVE můžeme vycházet ze základních vzorců. Potřebnou plochu pro instalaci solárních panelů vypočteme tedy ze vzorce: [7]

$$A_{p0} = \frac{E_s}{I_d} \quad (\text{m}^2) \quad (2.2)$$

kde je

E_s množství spotřebované elektrické energie za den (W·h)
 I_d je výkon, který dopadá na panely (W·h·m⁻²)

Pokud budeme předpokládat, že v systému jsou nějaké další ztráty, je zapotřebí vynásobit plochu panelů tzv. korelačním faktorem C_A , pro který platí podmínka $C_A > 1$. Vzorec pro výpočet plochy FVE pak jen lehce upravíme do následujícího tvaru: [7]

$$A_p = C_A \cdot A_{p0} \quad (\text{m}^2) \quad (2.3)$$

kde je

C_A korelační faktor (-)

Během návrhu elektroinstalace je dobré mít k dispozici historii spotřeby domu, v ideálním případě za celý rok. Dále si můžeme zvolit proměnnou n_c , která reprezentuje množství dní. Pokud

vznikne stav, kdy je množství energie produkované z FVE nižší než současná spotřeba E_s , jinak řečeno je-li záření I_{dd} menší jak výhledový průměr, pak se dá vzorec pro energetickou bilanci vyjádřit jako: [7]

$$E_v = n_c \cdot A_p \cdot I_{dd} \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (2.4)$$

Vezmeme-li v potaz spotřebu elektrické energie domem E_s , je zřejmá nutnost aplikace nějakého zálohovacího členu, který doplní systém o stabilní zdroj energie po určitou dobu. Tato doba vychází z jeho kapacity (ve $\text{W} \cdot \text{h}$) a bude rovna: [7]

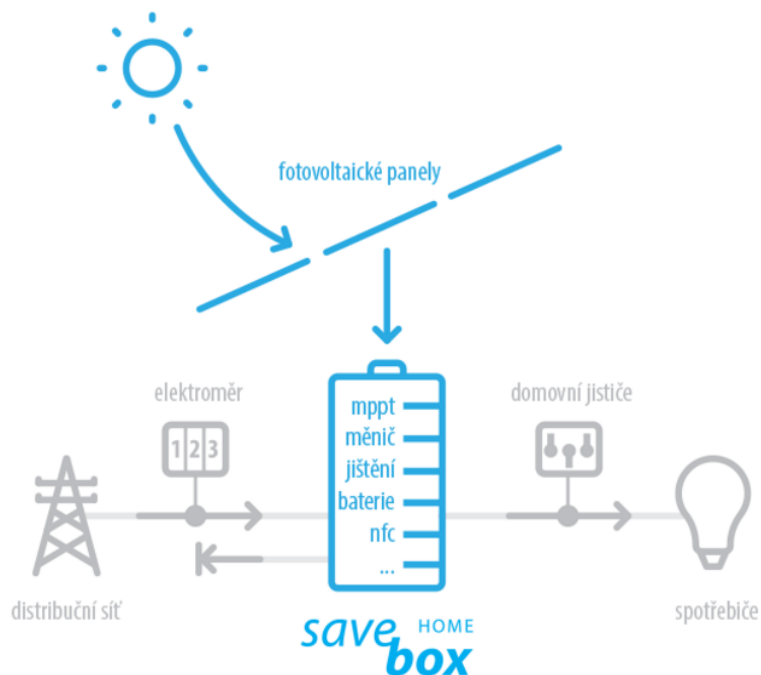
$$Q \geq n_c \cdot (E_s - A_p \cdot I_{dd}) \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (2.5)$$

Pokud použijeme korelační faktor C_A a vyjádříme si vztah pro množství dnů v ostrovním režimu $C_s = Q / E_s$ bude výsledný vzorec vypadat následovně:

$$\frac{C_s}{n_c} + \frac{I_{dd} C_A}{I_d} \geq 1 \quad (2.6)$$

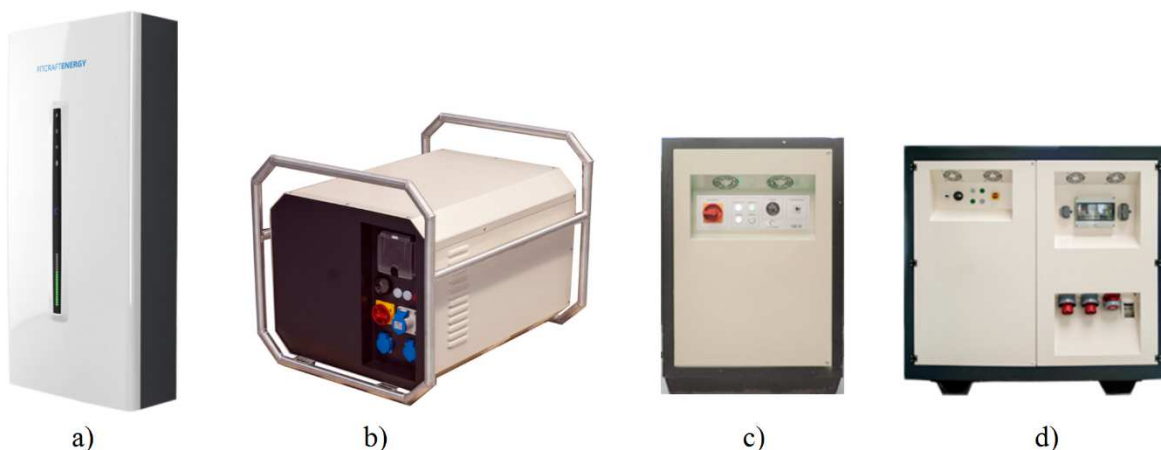
2.10.3 Savebox

Je to zařízení, které bylo vyvinuto jako záložní zdroj elektrické energie jak pro soukromý tak i pro veřejný sektor. Obsahuje všechny základní prvky pro realizaci ostrovního, nebo poloostrovního systému. Těmito prvky jsou myšleny články baterií, které jsou spojeny tak, aby na výstupu zařízení byla požadovaná hodnota napětí a celková kapacita dále je zde umístěn měnič napětí, přepěťová ochrana a další integrované elektronické řídicí systémy. Základní model toho jak systém funguje je uveden na Obr. 2.15. [12]



Obr. 2.15: Model zapojení systému Savebox HOME [12]

U nás existují čtyři varianty: Home, S, M a L. Kdy jak už název napovídá, verze Home je určena pro rodinné domky, S je přenosný záložní zdroj určený převážně pro stavební účely, M je určen pro stavby a pasivní domy a L je zdroj o velmi vysoké kapacitě určen pro nemocnice a budovy obdobných parametrů. Verze L (největší možný) stojí přibližně 1.530.000 Kč. Verze Home 7,5 stojí přibližně 970.000 Kč. Při dosažení evropské dotace ceny klesnou o 80%. V této práci bude převážně počítáno s verzí 7,5, která po obdržení dotace bude stát 194.000 Kč. [12]



Obr. 2.16: a) Savebox HOME b) Savebox S c) Savebox M d) Savebox L [12]

Výhody

- malá hmotnost (10% hmotnosti starých olověných akumulátorů) při stejném výkonu
- vysoká mobilita
- minimální údržba
- jednoduchá instalace
- rychlá finanční návratnost (výrobce udává až 3 roky, ale pouze za optimálních podmínek, které nejsou téměř nikdy)
- monitoring přes chytrý telefon, tablet, nebo PC
- stabilní výkon
- ohleduplnost k životnímu prostředí
- fyzická odolnost (mokré, prašné prostředí, teplotní výkyvy, apod.) [12]

Kompletní nová instalace bateriového systému Savebox obsahuje:

- akumulátory
- BMS - Battery Management Systém
- Měnič
- Přepět'ovou ochranu
- MPPT - zařízení pro výrobu energie z fotovoltaiiky
- Indikátor - indikace energetických toků na panelu jednotky

- NFC - možnost načtení aktuálního stavu jednotky mobilním telefonem
- REMOTE - ovládání významného spotřebiče (např. ohřev TUV)
- Monitoring - vzdálený přístup pomocí internetového prohlížeče
- Chlazení - vzduch, aktivní s regulací výkonu [12]

Tab. 2.3: Parametry Savebox HOME 4,5 a 7,5. [12]

Parametry	Savebox HOME 4,5	Savebox HOME 7,5
Kapacita	4,5 kVA·h	7,5 kVA·h
Maximální kapacita	12 kVA·h	12 kVA·h
Trvalý výstupní výkon měniče	2 kVA	2 kVA
Výstupní výkon měniče (30 min)	2,6 kVA	2,6 kVA
Výstupní výkon měniče (5 s)	4 kVA	6,5 kVA
Akumulátor	3 ks LiFePO ₄	5 ks LiFePO ₄
Životnost baterií	>4000 cyklů	>4000 cyklů
Doporučený výkon FVE	2,3 kWp	3,5 kWp
Doporučený počet panelů FVE (290 Wp)	8 ks	12 ks
Plocha doporučené FVE	cca 10,4 m ²	cca 15,6 m ²
Maximální výkon FVE	4 kWp	4,8 kWp
Rozměry boxu	1400 x 650 x 300 mm	1400 x 650 x 300 mm

Kombinace s výrobou teplé vody

V jednotce je pro zlepšení spotřeby energie ze slunce vestavěno technické vybavení pro ovládání elektrického bojleru - pro objekty s malou spotřebou elektrické energie. V případě, že slunce vyrobilo více energie, než kolik lze uložit v akumulátorech, mohlo by dojít k zbytečnému zastavení výroby fotovoltaické elektrárny (energii už není kam ukládat, a nelze ji ani dodat do elektrické sítě, protože běžně nejsou distribučními společnostmi povoleny přetoky energie do elektrické sítě a jednotka má ve výchozím nastavení funkci dodávky energie do elektrické sítě zakázanu). V tomto případě jednotka SBH sepne ovládací kontakt, který zapne ohřev vody v bojleru (nebo jiný významný spotřebič v domě). Tím je zabráněno ztrátě energie vyrobené sluncem a tato je využita přímo v domě. [11]

Personalizace jednotky - nastavení poměru mezi stupněm zálohy a výrobou energie

Výchozí nastavení jednotky je takové, že celá dostupná kapacita akumulátorů je využita pro zpracování energie vyrobené sluncem. Systém tedy vždy, kdy je v akumulátorech nějaká energie (vyrobená sluncem) pokrývá spotřebu domu primárně z nich. Může se tak ale stát, že dojde k výpadku elektrické sítě v okamžiku, kdy jsou akumulátory už zcela vybity. Pak se může stát, že výpadek elektrické sítě nebude jednotkou překlenut. Pro tyto případy lze jednotku nastavit tak, aby si vždy ponechávala v akumulátorech zásobu energie pro případ výpadku sítě. [11]

Monitoring

Pokud jednotku SBH připojíme k internetu (většinou stačí pouze připojit ethernetový kabel mezi jednotku a router, pomocí kterého jsou zařízení v domě připojena k internetu), jednotka začne odesílat data do systému monitoringu. Pomocí běžného internetového prohlížeče se pak můžeme k systému připojit a sledovat energetické toky v jednotce, okamžité výkony a další informace. Data jsou dostupná s kompletní historií - můžeme tak sledovat, jak systém dlouhodobě funguje, ale například také i jaké má dům energetické potřeby apod. V ceně jednotky je předplacen provoz portálu monitoringu. Pokud je jednotka připojena k internetu, je také automaticky aktualizován software. Díky tomu má vždy všechny nejnovější funkce. [11]

NFC (near field communication), display v telefonu

Na jednotkách Savebox nenajdeme žádný displej, protože ty průmyslové jsou určeny do drsných provozních podmínek a uživatelské rozhraní například s dotykovou obrazovkou, nebo něčím podobným se pro ně nehodí. Mají ale něco mnohem lepšího, jsou totiž vybaveny rozhraním pro NFC komunikaci s mobilním telefonem. Pokud do svého telefonu, který je vybaven NFC technologií, nainstalujeme příslušnou aplikaci, budeme mít displej Saveboxu přímo v mobilu. Podobně, jako při platbě bezkontaktní platební kartou přiložíme svůj chytrý telefon na anténu NFC na zařízení. Telefon načte aktuální hodnoty ze Saveboxu a pak si můžeme vše pohodlně zkontrolovat na displeji svého telefonu. Pokud se potřebujeme o něčem poradit například s pracovníkem technické podpory, je možné mu přímo z aplikace v telefonu načtené hodnoty pomocí e-mailu odeslat. [11]

Na závěr zde uvedu přesnou cenovou kalkulaci systému Savebox, která je platná do 31.3.2016. Cena nezahrnuje fotovoltaické panely ani nabíjecí stanici. [11]

Tab. 2.4: Cenové kalkulace jednotlivých typů systému Savebox [11]

Savebox HOME		Savebox S	
Typ	Cena (Kč)	Typ	Cena (Kč)
SBH 2,6-4,5-2,3	149 000	SBS 3-6-0	169 743
SBH 2,6 7,5 - 3,5	194 000	SBS 3-9-0	218 624
		SBS 3-6-2	176 751
		SBS 3-9-2	225 633
Savebox M		Savebox L	
Typ	Cena (Kč)	Typ	Cena (Kč)
SBM 7-18-3,5	586 254	SBL 25-60-4,8	1 591 413
SBM 7-18-4,8	606 697	SBL 25-60-9,6	1 625 750
SBM 7-24-3,5	684 017	SBL 25-60-14	1 660 086
SBM 7-24-4,8	704 459		
SBM 8,5-24-3,5	694 147		
SBM 8,5-24-4,8	714 589		

Označení řady SB vyplývá z parametrů konkrétního zařízení. Jako příklad uvedu řadu s označením SBM 7-24-4,8. [11]

kde je

SB	základní název systému (Savebox)
M	je typové zařazení dle způsobu použití
7	je výkon měniče (kVA)
24	je kapacita akumulátoru (kW·h)
4,8	je vstup pro fotovoltaické panely (kWp) [10]

3 Návrh testovacích scénářů

Prvním kritériem pro návrh systému je, kolik dnů navíc bude možné fungovat v ostrovním režimu za předpokladu připojení jednoho elektromobilu, který bude mít menší kapacitu baterie a nebo připojení dvou elektromobilů přičemž jeden bude mít menší a druhé větší kapacitu. [7]

Druhým kritériem je, o kolik bude možné snížit kapacitu a tedy i cenu stávající baterie v domě, opět za předpokladu připojení buď jednoho, nebo dvou elektromobilů rozdílných kapacit baterií. [7]

Výsledkem výpočtů a porovnáním jednotlivých variant bude postupně vyčleněno optimální využití této technologie, v závislosti na technických požadavcích a cenové dostupnosti. Předem je již možno odhadnout, že v podmínkách ČR je zavedení čistě ostrovního systému v této době neefektivní, v závislosti na pořizovací ceně a její návratnosti. Roli hraje také to, že v létě bude energie přebytek a je tedy vhodné být připojen k síti z důvodu prodeje přebytečné energie. Z toho je patrné, že čistě ostrovní systém je nevýhodný i když výpočtem zjistíme technické řešení, kdy napájení bude fungovat nezávisle na veřejné síti. [7]

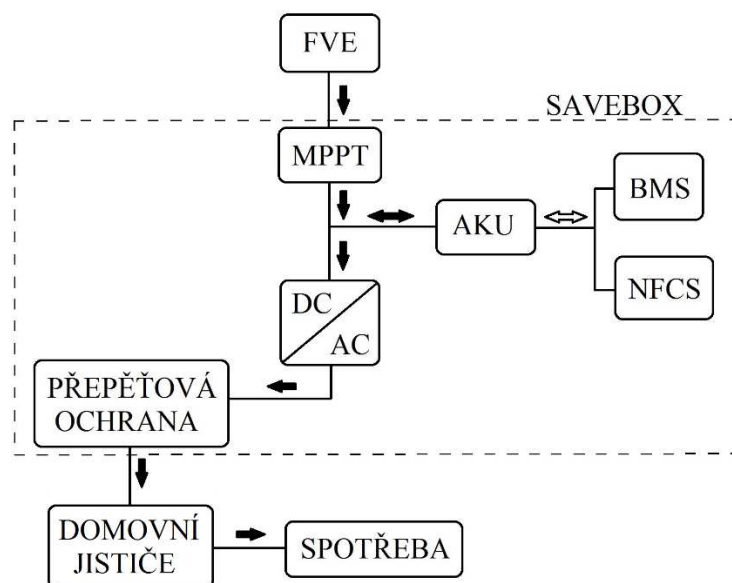
Při navrhování jednotlivých variant jsem počítal s faktem, že mnou vybrané vozy jsou schopny fungovat jako akumulární člen. Při komunikaci s výrobcí elektromobilů jsem se ale dozvěděl, že touto technologií u nás není vybaven elektromobil žádné z dostupných značek. Byl mi ovšem sdělen fakt, že přestavba některých modelů pro funkci V2H systému je již v plánu. Je zde ovšem možnost, kdy po zakoupení běžného elektromobilu lze do něj tento systém dodatečně zakomponovat. V České republice provádí tu to činnost např. firma EVC Group.[7]

3.1 FVE + AKU

Ostrovní systém

Při aplikaci systému Savebox Home 7,5 a jeho hodnot do programu PVGIS je z tabulky patrné, že by při uvedené průměrné denní spotřebě domu 12 kW·h, při potřebě nezávisle napájet dům po dobu tří dnů a při čistě ostrovním režimu nestačil. [13]

Řešením tohoto problému je použít panely o větším výkonu, nebo více panelů. Zařízení Savebox Home 7,5 je v tomto směru omezeno na maximální výkon FVE (4,8 kWp), který je dle výsledných hodnot v tabulce stále nedostatečný. Je tedy zapotřebí využít větší množství těchto zařízení. Vzhledem k tomu, že je jeho cena za předpokladu obdržení dotace 194.000 Kč, začínají být náklady na ostrovní systém neúnosné. [13]



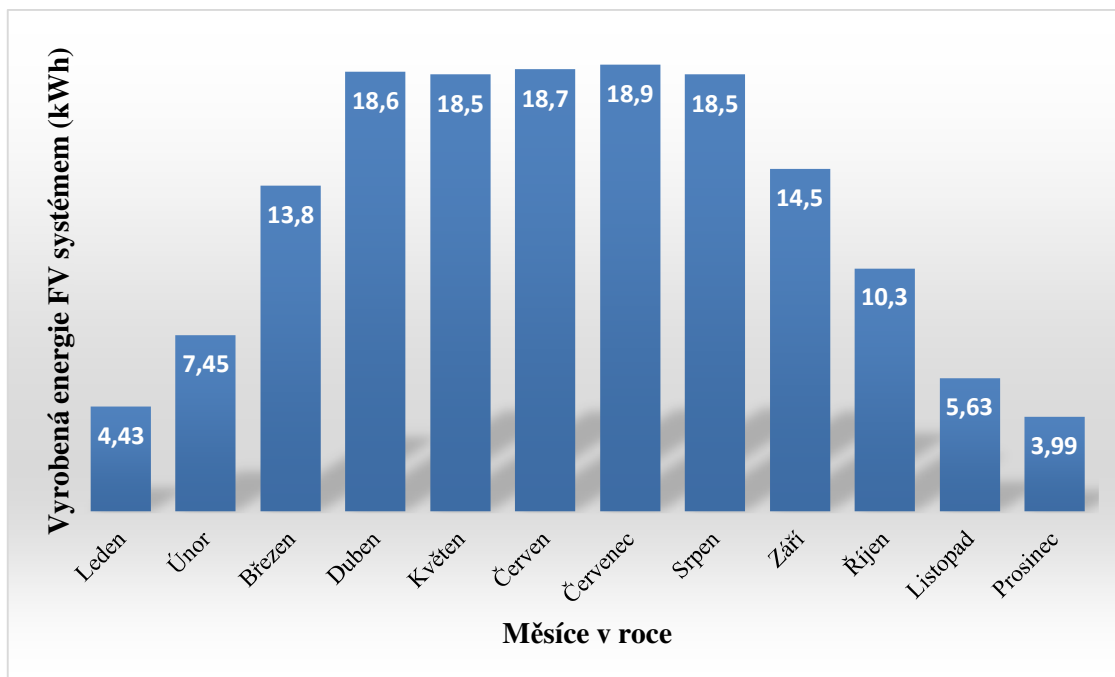
Obr. 3.1: Schéma zapojení ostrovního systému

Tab. 3.1: Hodnoty vypočtené přes program PVGIS pro výkon FVE 3,5 a 4,8 kWp [1]

Měsíc	Výkon FVE = 3,5 kWp		Výkon FVE = 4,8 kWp			
	E_d (kW·h)	E_m (kW·h)	E_d (kW·h)	E_m (kW·h)	H_d (kW·h/m ²)	H_m (kW·h/m ²)
Leden	3,23	100	4,43	137	1,08	33,6
Únor	5,43	152	7,45	208	1,86	52
Březen	10	311	13,8	427	3,54	110
Duben	13,5	406	18,6	557	4,98	150
Květen	13,5	418	18,5	574	5,11	158
Červen	13,6	408	18,7	560	5,23	157
Červenec	13,8	427	18,9	585	5,33	165
Srpen	13,5	419	18,5	575	5,2	161
Září	10,6	317	14,5	435	3,92	118
Říjen	7,51	233	10,3	319	2,71	84
Listopad	4,11	123	5,63	169	1,43	42,8
Prosinec	2,91	90,3	3,99	124	0,98	30,5
Průměr	9,33	284	12,8	389	3,46	105
Součet (za rok)	3410		4670		1260	

kde je

 E_d Průměr denní produkce elektrické energie z daného systému (kW·h) E_m Průměr měsíční produkce elektrické energie z daného systému (kW·h) H_d Průměr denního globálního záření na m² obdržené moduly daného systému (kW·h/m²) H_m Průměr měsíčního globálního záření na m² obdržené moduly daného systému (kW·h/m²)



Graf. 3.1: Závislost vyrobené energie FV systémem na roční době [1]

Ostrovní systém je velmi nepraktický, protože musíme baterii a FVE dimenzovat na nejhorší možné podmínky v roce, což je podle tabulky prosinec. V době, kdy jsou podmínky ideální, je potom systém značně nevyužitý. Z těchto důvodů je vhodné zavést tzv. poloostrovní systém, kdy je přebytek energie vrácen do sítě a nedostatek ze sítě naopak hrazen.

Při výpočtech vycházím z parametrů zařízení Savebox HOME 7,5. Kapacitu baterie pro udržení domu v ostrovním režimu, za předpokladu nedostatku energie z FVE po dobu tří dnů určíme z následujících vztahů. [13]

Za prvé určíme, jaká bude potřeba celkové kapacity baterií dle vzorce:

$$C_{celk} = P_d \cdot d \quad (kWh) \quad (3.1)$$

kde je

P_d denní spotřeba domu ($kW \cdot h$)

d počet dnů (dny)

Systém je tvořen modulárně a vzhledem k tomu, že z dokumentace známe kapacitu jednoho modulu, která je $1,5 kW \cdot h$, můžeme určit celkový počet modulů, které budou zapotřebí dle vzorce:

$$MO_{celk} = \frac{C_{celk}}{M_1} \quad (modulů) \quad (3.2)$$

kde je

M_1 kapacita jednoho modulu ($kW \cdot h$)

Jednotlivé moduly jsou značeny zkratkou LA3016 a jsou tvořeny Lithium-Železo-Fosfátovými články ($LiFePO_4$).

Měnič, který systém obsahuje je dimenzovaný na maximální výkon FVE (4,8 kWp). Při daném výkonu je schopna FVE (v místě Ostrava - Poruba) vyrobit 3,99 kW·h za den (dle PVGIS). Aby bylo možné pokrýt denní spotřebu domu 12 kW·h, bude za potřeby určité množství měničů dle vzorce:

$$M_{celk} = \frac{P_d}{E_d} \quad (\text{měniče}) \quad (3.3)$$

kde je

E_d průměr denní produkce elektrické energie z daného systému (kW·h)

Z toho pak můžeme určit počet panelů. Víme, že jeden panel má výkon 290 Wp, měnič je dimenzovaný na 4,8 kWp, což je asi 16,55 panelů na jeden měnič. Jsou tedy zapotřebí teoreticky tři měniče.

Při použití tří měničů je pokryt maximální výkon FVE. Celkový počet panelů je tedy dán vzorcem:

$$PA_{celk} = PA_{1m} \cdot M_{celk} \quad (\text{panelů}) \quad (3.4)$$

kde je

PA_{1m} počet fotovoltaických panelů na jeden měnič

Když známe z dokumentace plochu jednoho panelu, která je rovna 1,3 m², tak můžeme určit celkovou plochu FVE která bude zapotřebí dle vzorce:

$$FVE_{celk} = PA_{celk} \cdot PA_1 \quad (m^4) \quad (3.5)$$

kde je

PA_1 plocha jednoho fotovoltaického panelu

Tento výpočet je aplikován na roční dobu s nejmenší produkcí elektrické energie ze slunečního záření, kterou je prosinec. Je zřejmé, že když je tento systém navržený pro roční dobu, kdy FVE vyprodukuje 3,99 kW·h, bude pro nejpříznivější roční dobu, kterou je červenec a vyrobená energie dosahuje 18,9 kW·h značně předimenzován. Jinak řečeno na střeše bude zbytečně moc panelů, pro které bude zapotřebí větší investice např. do měniče a energie zůstane nevyužitá. Poměr denně využívané kapacity vůči kapacitě záložní při ostrovním režimu s kalkulací pro tří denní samostatný provoz je znázorněn na následujícím obrázku.

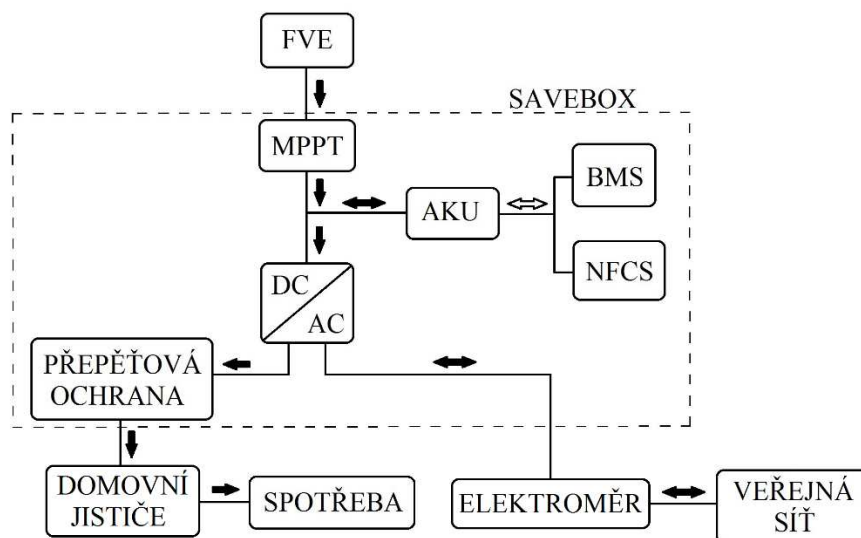
ZÁLOŽNÍ KAPACITA PRO PŘÍPAD VÝPADKU ENERGIE Z FVE	KAPACITA VYUŽÍVANÁ PRO KAŽDODENNÍ PROVOZ
80%	20%

Obr. 3.2: Poměr pravidelně využívané kapacity baterie ku kapacitě záložní

Poloostrovní systém

Řešením problému s přebytkem energie v létě a nedostatkem energie v zimě je kombinace FVE a veřejné sítě. Systém již nenavrhujeme pro nejhorší možnou roční dobu, ale volíme jistý kompromis

v závislosti na ceně systému. Jistou roli hraje také smlouva s distributorem. Pokud vzniknou lepší podmínky pro odkup přebytku elektrické energie, bude výhodné zainvestovat více do FVE.



Obr. 3.3: Schéma zapojení poloostrovního systému

Pro variantu poloostrovního systému je doporučeno jen jedno zařízení Savebox HOME 7,5. Toto zařízení je optimální pro domy s roční spotřebou do 5,5 MW·h, přičemž spotřeba domu prezentovaná v této práci je přibližně 4,38 MW·h.

V našem případě při aplikaci doporučeného zařízení to pro nás znamená, že bez jakéhokoliv přísunu energie vydrží dům s plně nabitou baterií asi 15 hodin při doporučené hodnotě kapacity baterií dle vzorce:

$$t_{off-grid} = t_d \cdot \frac{C_{sb}}{P_d} \quad (hod.) \quad (3.6)$$

kde je

$t_{off-grid}$ doba, po kterou bude dům při použití kapacity C_{sb} zcela soběstačný (hod)

t_d doba jednoho dne (hod)

C_{sb} je výchozí kapacita zařízení Savebox 7,5 (kW·h)

Při maximální kapacitě baterií pro jedno zařízení zvládne baterie napájet dům po danou dobu dle vzorce:

$$t_{off-grid}' = t_d \cdot \frac{C_{sbmax}}{P_d} \quad (hod.) \quad (3.7)$$

kde je

C_{sbmax} maximální kapacita zařízení Savebox 7,5 (kW·h)

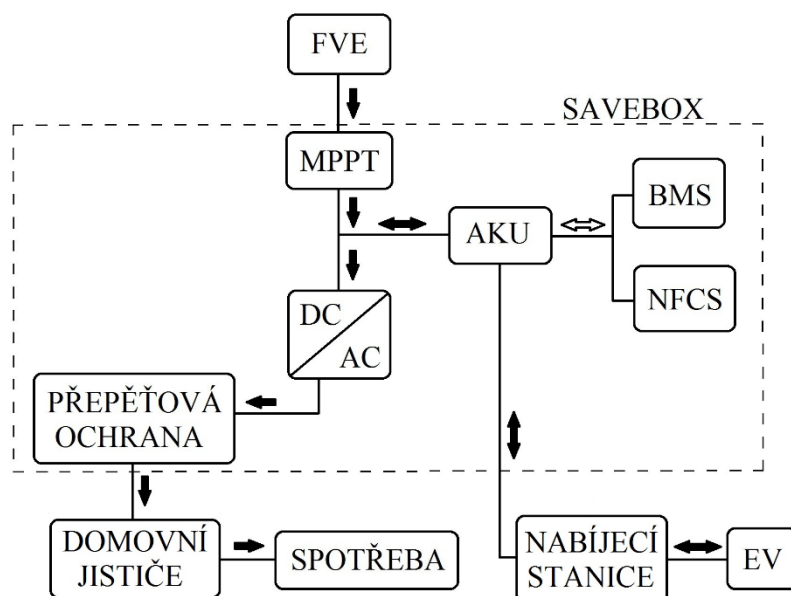
Na vyšší hodnotu se můžeme dostat pouze zakoupením celého dalšího bloku, což by bylo velmi nákladné a neefektivní.

Tab. 3.2: Výsledky výpočtů pro variantu FVE + AKU

C_{celk}	36 kW·h
MO_{celk}	24 modulů
M_{celk}	3 měniče
PA_{celk}	50 panelů
FVE_{celk}	65 m ²
$t_{\text{off-grid}}$	15 hod
$t_{\text{off-grid}}'$	24 hod

3.2 FVE + AKU + EV

Další možností jak docílit ostrovního systému je, že akumulátor sloužící jako záložní zdroj energie v domě doplníme o další úložnou kapacitu pomocí elektromobilu, který má v našem případě kapacitu 24 kW·h. Jednou z prvních automobilek, které se začaly zabývat problematikou zpětného toku energie z elektromobilu byl Nissan. Jako vzorový příklad uvádím model Nissan Leaf, jehož kapacita odpovídá 24 kW·h a dojezdová vzdálenost je 200 km.



Obr. 3.4: Schéma zapojení ostrovního systému V2H s jedním EV

Předpokládejme, že je vzdálenost místa pracoviště od domu průměrně 20 - 30 km a v práci bude možnost elektromobil plně dobít. Z toho teoreticky vyplývá, že asi 90% kapacity baterie může být použito jako záložní zdroj energie. Musíme, ale počítat s tím, že baterii nelze vybit úplně. Jinak řečeno baterie má tzv. využitelnou kapacitu, která činí 90 % z celkové kapacity vozu, u Nissanu Leaf asi 21,3 kW·h. Oficiální dojezdovou vzdálenost vozu je tedy také potřeba brát s jistou rezervou. Pro dostatečnou rezervu volím dojezdovou vzdálenost 35 km.

Za předpokladu, že je využitelná kapacita baterie 21,3 kW·h, lze usoudit, že i reálný dojezd vozu bude úměrně kratší, než se uvádí a je prezentován vzorcem:

$$D_r = D_u \cdot \frac{C_v}{C_u} \quad (km) \quad (3.8)$$

kde je

D_u uváděný dojezd (km)

C_v je využitelná kapacita (kW·h)

C_u je uváděná kapacita (kW·h)

Pro ujetí vzdálenosti 35 km postačí kapacita ve voze, kterou určíme dle vzorce:

$$C_j = C_v \cdot \frac{D_p}{D_r} \quad (kWh) \quad (3.9)$$

kde je

D_p požadovaný dojezd (km)

Ve výsledku ale záleží na konkrétních vzdálenostech, se kterými musí uživatel počítat při návrhu V2H systému a také terénním profilu tratě. Při odečtení potřebné kapacity pro dojezd do práce zbude asi 17 kW·h se kterými už můžeme počítat při návrhu V2H systému. Jelikož se při tomto návrhu nepočítá s tím, že by se elektromobil nabíjel doma, není tedy potřeba navyšovat plochu nebo výkon FVE.

Za předpokladu čistě ostrovního systému s případnou třídení soběstačností, dojde ke zmenšení počtu akumulátorů v domě o 47,2 %. Tento pokles reprezentuje vzorec:

$$US_{aku} = 100 \cdot \frac{C_{akuEV1}}{C_{celk}} \quad (\%) \quad (3.10)$$

kde je

US_{aku} procentuální úspora na bateriích po připojení EV_1 do systému (%)

C_{akuEV1} využitelná akumulací kapacita EV_1 (kW·h)

Cena baterií v domě tedy klesne o 47,2 %. Je nutno podotknout, že 47,2% pokles se nevztahuje k celkové ceně zařízení, ale jen k samotným bateriím. Baterie jako takové tvoří pouze 15,5 % z celkové ceny zařízení Savebox při výchozím stavu, což je 5 modulů. Cena jednoho modulu je tedy 6.000 Kč. Při použití 30 modulů pro ostrovní systém bez elektromobilu vzroste cena na 180.000 Kč. Výslednou úsporu můžeme tedy teoreticky vypočítat z této částky podle vzorce:

$$US_{cena} = US_{AKU} \cdot AKU_{cena} \quad (Kč) \quad (3.11)$$

kde je

US_{cena} je finanční úspora za baterie po připojení EV_1 do systému (Kč)

Dobu, po kterou bude objekt zcela soběstačný vypočteme podle vzorce:

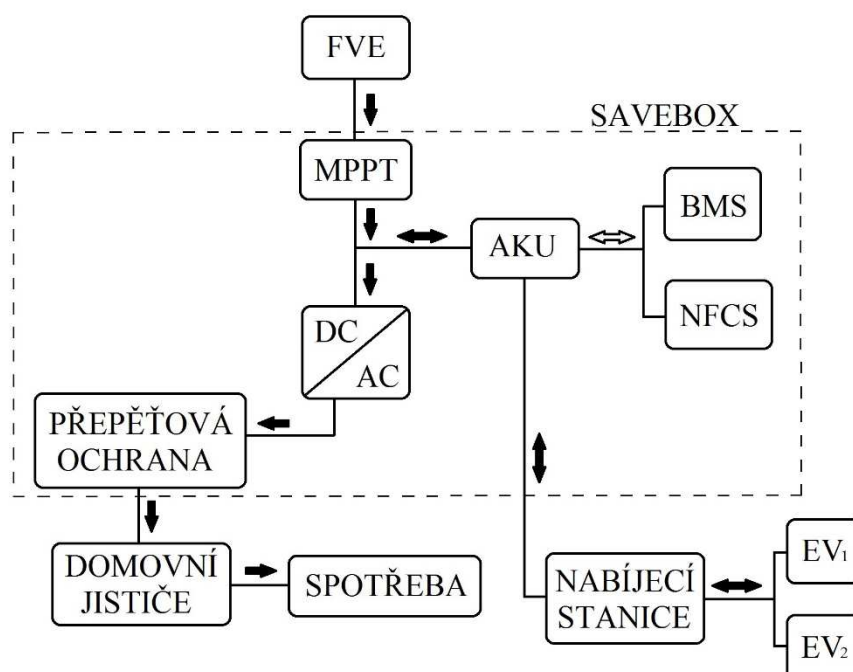
$$t_{off-grid''} = t_d \cdot \frac{C_{aEV} + C_{celk}}{P_d} \quad (hod.) \quad (3.12)$$

Tab. 3.3: Výsledky výpočtů pro variantu FVE + AKU + EV₁

D_r	177 km
C_j	4,2 kW·h
US_{AKU}	47,20 %
US_{cena}	84 960 Kč
$t_{off-grid}$	106 hod.

3.3 FVE + AKU + EV₁ + EV₂

Volbou dvou elektromobilů, kdy jeden má kapacitu 17,6 kW·h a druhý má kapacitu 24 kW·h dosáhneme zredukování dalších výdajů spojených s pořizovací cenou akumulátoru v domě.



Obr. 3.5: Schéma zapojení ostrovního systému V2H se dvěma EV

Vzhledem k tomu, že využitelná kapacita baterie ve vozidlech je asi 90 %, je tedy u menšího vozidla rovna hodnotě 15,8 kW·h. Oficiální dojezdová vzdálenost tedy klesne ze 145 km na 130 km. Pokud zvolíme opět potřebnou dojezdovou vzdálenost 35 km, při které se využije 4,2 kW·h, zbude k dispozici 11,6 kW·h jako záložní zdroj. Když tuto hodnotu sečteme s kapacitou většího auta, které bylo řešeno v předchozím případě, vznikne celková úspora na bateriích dle vzorce:

$$US_{AKU}' = 100 \cdot \frac{C_{aEV1} + C_{aEV2}}{C_{celk}} \quad (\%) \quad (3.13)$$

kde je

US_{AKU} procentuální úspora na bateriích po připojení EV₁ a EV₂ do systému (%)

Je to opět bráno jako úspora za baterie, které jsou v domě za předpokladu, že dům bude nezávislý na energiích po dobu tří dnů a využije tedy jako záložní zdroj kombinaci baterií v domě a baterií v prvním a druhém EV. Vzniklá úspora zde bude následující:

$$US_{cena}' = US_{AKU}' \cdot AKU_{cena} \quad (Kč) \quad (3.14)$$

kde je

US_{cena} finanční úspora za baterie po připojení EV_1 a EV_2 do systému (Kč)

Dobu po, kterou bude objekt zcela soběstačný vypočteme pomocí vzorce:

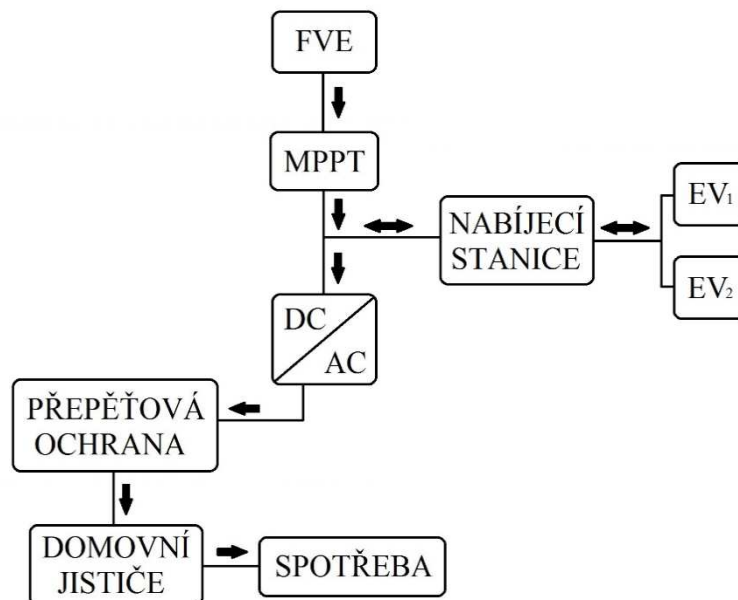
$$t_{off-grid}''' = t_d \cdot \frac{C_{celk} + C_{aEV1} + C_{aEV2}}{P_d} \quad (hod) \quad (3.15)$$

Tab. 3.4: Výsledky výpočtů pro variantu FVE + AKU + EV_1 + EV_2

US_{AKU}'	79,40 %
US_{cena}'	142.920 Kč
$t_{off-grid}'''$	129 hod

3.4 FVE + EV_1 + EV_2

Pokud baterii z domu úplně vyloučíme, tak logicky bude vzniklá úspora 180.000 Kč. Je ale pravděpodobné, že tato částka bude ještě větší, neboť lze ze systému vypustit i další technické aspekty. Je tím myšleno například BMS (Battery Management System), nebo lze podstatně zredukovat chlazení, apod.



Obr. 3.6: Schéma zapojení V2H se dvěma EV bez domovního aku.

Volná kapacita pro zálohování energie zde bude asi 28,6 kW·h. Vzhledem k denní spotřebě 12,01 kW·h, je to dostačující na běžný provoz domu a v případě ztráty napájení z FVE lze dosáhnout téměř dvoudenní samostatnosti. Pokud obě čísla podělíme, vychází přesnější výsledek:

$$t_{off-grid}'''' = t_d \cdot \frac{C_{aEV1} + C_{aEV2}}{P_d} \quad (hod) \quad (3.16)$$

kde je

$t_{off-grid}''$ doba, po kterou bude dům při použití kapacity EV₁ a EV₂ zcela soběstačný (hod)

Toto řešení je omezeno tím, že v domě musí zůstat vždy alespoň jeden elektromobil pro aktuální provoz domu.

Tab. 3.5: Výsledky výpočtů pro variantu FVE + EV₁ + EV₂

$t_{off-grid}''''$	57,2 hod
--------------------	----------

3.5 FVE + Tesla model S

Při kapacitě tohoto vozu, která činí 85 kW·h lze konstatovat, že pokud by bylo využíváno jako záložní zdroj energie v domě, vydržel by dům bez napájení asi 5,7 dnů. Při běžném provozu domu je tato varianta řešení nepřijatelná, neboť by při odjezdu auta z domu nastala situace, kdy by dům byl zcela bez záložní energie. Taky by musel být vyřešen problém s nepravidelným přísunem energie z FVE, protože baterie mimo schopnosti ukládat energii plní i funkci stabilizační.

I přesto, že je kapacita pro realizaci čistě ostrovního systému nadmíru dostačující bylo by za potřebí do systému opět zakomponovat další baterii, která pokryje dobu, kdy auto bude mimo dům. Problém nastane při výpočtu její kapacity, kdy nelze přesně určit absenci elektromobilu, a tedy by se musela zvolit dostatečná rezerva. Zde už se ale dostáváme do situace, kdy je cena nadmíru vysoká. Jen pořizovací cena vozu Tesla Model S činí kolem 2.000.000 Kč dle požadované výbavy.

4 Analýza modelových situací

4.1 Srovnání jednotlivých variant

4.1.1 Ostrovní systém

Ostrovní systém se jeví jako velmi perspektivní projekt, ale pro jeho realizaci jsou zapotřebí určité klimatické podmínky. V opačném případě je velmi neefektivní. Při řešení problému s akumulací elektrické energie v rámci ostrovního systému se vyskytla řada komplikací. Jednou z nich byl fakt, že aby při našich klimatických podmínkách fungoval ostrovní systém spolehlivě i v zimě, musel by se do velké míry navýšit počet akumulátorů. Už při modelové situaci, kdy je předpokládaná doba bez energie asi tři dny byla celková cena systému velmi vysoká. Realitou však je, že počet dnů kdy nelze odebírat energii ze slunce může mnohdy hranici tří dnů přesáhnout. Pokud taková situace nastane a systém není doplněn např. malou větrnou elektrárnou, nezbude nic jiného než dočasné napájení z dieselaagregátu.

4.1.2 Poloostrovní systém

Varianta poloostrovního systému je mnohem variabilnější. Lze si totiž předem stanovit, jakou investici jsme do něj ochotni vložit. Není zapotřebí provádět přesné výpočty parametrů zařízení jako u ostrovního systému, neboť jsou ztráty, popřípadě přebytky elektrické energie vždy patřičně kompenzovány. Na základě vložených investic pak dostaneme systém, který bude méně či více závislý na energii z veřejné sítě. Ideálním řešením je tedy zvolit některou z variant systému Savebox HOME, dle spotřeby domu a jeho pozice. Pokud bychom zavrhlí variantu předem sestaveného bloku se všemi komponenty, bylo by krajně pravděpodobné, že bychom v lepším případě velmi obtížně usilovali o získání evropské dotace (což není zas tak jednoduché), v tom horším případě bychom dotaci vůbec nedostali a systém by byl neúměrně nákladný a pravděpodobně i velmi prodělečný z hlediska dlouhodobé návratnosti.

4.2 Ekonomické zhodnocení

Při zvažování, zdali si pořídit nebo nepořídit ostrovní nebo poloostrovní systém hrají jistou roli různorodé faktory. Jedním z nich je i finanční stránka věci. Pokud se do takového projektu pustíme, tak je zapotřebí rozdělit finanční aspekt do tří kategorií, kterými jsou pořizovací cena, náklady na provoz a návratnost investice.

4.2.1 Pořizovací cena

Hrubý odhad byl již stanoven v předchozí kapitole, ale jednalo se spíše o cenu zařízení Savebox, které má díky evropské certifikaci velkou pravděpodobnost získání evropské dotace tzv. zelené úspory. Při výpočtech se vycházelo z parametrů jeho vnitřních komponent. Je sice stanoven nějaký základní modul, jehož rozšiřitelnost je omezená, ale jelikož je systém řešen modulárně (stavebnicově), tak se dá do budoucna předpokládat, že při rozvoji daného odvětví energetiky bude možná mnohem větší variabilita systému, při nepatrném navýšení ceny. V takovém případě bude možné nakonfigurovat zařízení Savebox přesně dle požadavků zákazníka bez většího omezení ať už dostupným prostorem, nebo cenou.

Při podrobnějším zkoumání pořizovací ceny je třeba zavést jisté proměnné, jako je např. kvalita solárních panelů, které nejsou součástí zařízení, nebo třeba elektrické rozvody, kterými jsou solární panely propojeny a také vedou vyrobenou energii do akumulátorů v Saveboxu, ale tento výdaj lze vůči celkové ceně téměř zanedbat. Dalším důležitým faktorem, který ovlivní cenu, je samotná montáž, neboť práce při montáži fotovoltaických panelů na střechu také něco stojí, nehledě na konstrukci na kterou budou panely uchyceny.

Za předpokladu, že budeme do systému chtít zakomponovat i elektromobil je třeba počítat s investicí do nabíjecí stanice, která není zrovna zanedbatelná, ale při aplikaci systému V2H je bohužel nezbytná pro vzájemnou komunikaci vozidla s domem. Výčet jednotlivých výdajů nalezneme v následující tabulce.

Tab. 4.1: Pořizovací ceny dílčích komponent [12]

Prvek investice	Typ	Cena (Kč)	Poznámka
Poloostrovní systém			
Savebox	HOME 7,5	194.000	cena za jedno zařízení
Fotovoltaický panel	290 Wp BENQ mono	72.000	6000 Kč za jeden panel
Kabelové vedení	CYKY-J 3x1,5	1.000	10 Kč za m
Konstrukce pro panel	hliník + nerez. ocel	10.000	2500 Kč za jednu konstrukci
Montážní práce	-	20.000	hrubý odhad
Součet		297.000	
Ostrovní systém			
Savebox	HOME 7,5	582.000	Cena za tři zařízení
Fotovoltaický panel	290 Wp BENQ mono	300.000	6000 Kč za jeden panel
Kabelové vedení	CYKY-J 3x1,5	2.000	10 Kč za m
Konstrukce pro panel	hliník + nerez. ocel	30.000	2500 Kč za jednu konstrukci
Montážní práce	-	60.000	hrubý odhad
Součet		974.000	
Dodatečný výdaj při rozšíření systému o elektromobil			
Nabíjecí stanice	KEBA 86.878 KeContact	27.000	cena za jednu stanici

Uvedené hodnoty jsou jen orientační. Záleží na tom, jestli zvolíme verzi Savebox základní nebo rozšířenou, volba nabíjecí stanice je také velmi individuální. Co se týče fotovoltaických panelů, tak je na trhu spousta nekvalitních výrobků, například z Číny apod., je proto třeba volit raději dražší variantu se zárukou požadovaných parametrů a kvality. Kabelové vedení je v podstatě zanedbatelný faktor a je zde uvedena jen pro informaci. U konstrukce pro uchycení panelů je rozdíl jednak v materiálu a také ve sklonu. Cena uvedené konstrukce odpovídá montáži na rovnou střechu pod úhlem 45°. V případě montážních prací jde o nejméně stabilní proměnnou, která záleží na konkrétní firmě.

4.2.2 Provozní náklady

Zhodnotíme-li celkové náklady na provoz, tak uživatele příjemně překvapí fakt, že jsou téměř nulové. Samozřejmě je zde určité riziko poruchy jako u každého systému, ale s tím už se musí počítat.

Do pravidelné údržby spadá v podstatě jen setření prachu z krytu zařízení. Rozsáhlejší údržba nastane až v případě konce životnosti některé části systému. Předem již můžeme říci, že při pravidelném a správném užívání se výrazně sníží kapacita akumulátorů, jejichž životnost se standardně udává přibližně 4000 cyklů, což je asi 10 let. Za předpokladu, že nedojde k poškození řídících systémů, nebo ochran jsou další na řadě fotovoltaické panely, jejichž životnost se odhaduje asi na 20 let. [12]

4.2.3 Návratnost investice

Doba návratnosti se určuje velmi obtížně. Je zde spousta faktorů, které mohou výslednou hodnotu více či méně ovlivnit. Záleží také na variantě provedení systému. Při volbě poloostrovního systému budou menší pořizovací náklady, ale z určité části jsme stále závislí na ceně energie od distributora, která může v průběhu let kolísat. Při volbě čistě ostrovního systému jsou pořizovací náklady mnohem vyšší, je to ale vynahrazeno absolutní soběstačností. Pokud zvolíme systém V2H je výpočet nejkomplikovanější a s nejmenší přesností, neboť není zřejmé, zda je vhodné zakomponovat do výpočtů i pořizovací cenu, nebo údržbu elektromobilu. Pokud se tak rozhodneme učinit, velmi se prodlouží doba návratnosti a systém se bude jevit jako neefektivní, proto bych doporučil elektromobil do nákladu nezahrnovat. Pro představu si zde tuto variantu ale můžeme uvést. [13]

Zjednodušeně si lze dobu návratnosti u poloostrovního systému vypočítat pomocí jednoduché metody tak, že zjistíme, o kolik zaplatíme méně za elektřinu za jeden rok, poté výslednou hodnotou podělíme celkovými pořizovacími a provozními náklady a výsledkem je přibližná doba návratnosti v letech dle vzorce:

$$t_n = \frac{pc}{(E_{1cena} - E_{2cena})} \quad (roky) \quad (4.1)$$

kde je

E_{1cena} cena energie spotřebované za rok při odběru z veřejné sítě (Kč)
 E_{2cena} cena energie spotřebované za rok při poloostrovním režimu (Kč)
 pc pořizovací cena (Kč)

Při výpočtu pro ostrovní systém pak odpadá vliv sítě a výsledný vzorec se zjednoduší na tvar:

$$t_n = \frac{pc}{E_{2cena}} \quad (roky) \quad (4.2)$$

Při výpočtu doby návratnosti pro poloostrovní systém jsem vycházel ze skutečnosti, že 70 % spotřebované elektrické energie pokryje FVE a zbylých 30 % je hrazen ze sítě. Předpoklad doby návratnosti činil cca 20 let, což bylo s rezervou splněno. Ve výpočtu byla zohledněna inflace i degradace fotovoltaických panelů. Výsledky jsou znázorněny v Tab. 3.7.

Tab. 4.2: Doba návratnosti pro poloostrovní systém

Roční úspora (Kč)	Rozdíl investice - úspora (Kč)		Počet let
0 (výstavba)	-297.000		
17.500	-279.500		1
17.728	-261.773		2
17.958	-243.815		3
18.191	-225.623		4
18.428	-207.195		5
18.667	-188.528		6
18.910	-169.618		7
19.156	-150.462		8
19.405	-131.057	Výměna akumulátorů	9
19.657	-111.399	-171.399	10
19.913	-91.487	-151.487	11
20.172	-71.315	-131.315	12
20.434	-50.881	-110.881	13
20.700	-30.181	-90.181	14
20.969	-9.213	-69.213	15
21.241	12.028	-47.972	16
21.517	33.546	-26.454	17
21.797	55.343	-4.657	18
22.080	77.423	17.423	19
22.368	99.791	39.791	20
		Výměna fotovoltaických panelů	
22.368	99.791	-32.209	20
22.658	122449	-9.551	21
22.953	145402	13.402	22
23.251	168653	36.653	23
23.553	192206	60.207	24

Z Tab. 3.7 je patrné, že prvotní investice bude vykompenzována za cca 16 let. Ve výpočtu nejsou zahrnuty výdaje za opravy, nebo výměnu jednotlivých komponent systému. Je tedy zřejmé, že tato hodnota ještě vzroste. Předem si můžeme stanovit budoucí náklady na výměnu akumulátorů, vzhledem k tomu, že jejich životnost je dána počtem cyklů a odhaduje se na cca 10 let. Výsledná doba po zavedení této predikce nyní vychází 19 let. V kladných číslech se ale budeme nacházet pouze necelé dva roky, poté nastane situace, kdy bude zapotřebí výměna fotovoltaických panelů. Tato dodatečná investice bude ale vykompenzována během dvou let. Jinými slovy se zvýšila doba návratnosti o dva roky, tedy na hodnotu 22 let. Je třeba brát v potaz, že lze určit jen životnost akumulátorů a fotovoltaických panelů, neboť životnost ostatních částí systému není výrobcem uváděna.

Pro srovnání zde uvedu i dobu návratnosti pro ostrovní systém (Tab. 4.2), která je podstatně delší než u poloostrovního systému. Důvodem jsou více jak trojnásobné investiční náklady. Roční úspora přitom vzroste pouze o 30 %.

Tab. 4.3 : Doba návratnosti pro ostrovní systém

Roční úspora (Kč)	Rozdíl investice - úspora (Kč)	Počet let
0	-974.000	
25.000	-949.000	1
25.325	-923.675	2
25.654	-898.021	3
25.988	-872.033	4
26.326	-845.707	5
26.668	-819.040	6
27.014	-792.025	7
27.366	-764.660	8
27.721	-736.938	9
28.082	-708.856	10
28.447	-680.409	11
28.817	-651.593	12
29.191	-622.401	13
29.571	-592.831	14
29.955	-562.875	15
30.345	-532.531	16
30739	-501.792	17
31.139	-470.653	18
31.544	-439.110	19
31.954	-407.156	20
32.369	-374.787	21
32.790	-341.997	22
33.216	-308.781	23
33.648	-275.133	24
34.085	-241.048	25
34.528	-206.520	26
34.977	-171.542	27
35.432	-136.110	28
35.893	-100.218	29
36.359	-63.859	30
36.832	-27.027	31
37.311	10.284	32

Vzhledem k tomu, že i bez dodatečných investic za akumulátory a fotovoltaické panely činí doba návratnosti 32 let, nepokládám za nutné již tento faktor do výpočtů zahrnovat. Je tedy zřejmé, že z hlediska finanční návratnosti vložené investice je ostrovní systém velmi neefektivní.

Pokud se rozhodneme do ostrovního systému zařadit elektromobil, poklesnou prvotní investiční náklady pouze o úsporu za akumulátory. Podle toho jakou variantu testovacího scénáře aplikujeme, se adekvátně sníží doba návratnosti. Srovnání je uvedeno v Tab. 4.3.

Tab. 4.4 : Doba návratnosti při využití elektromobilu jako akumulčního členu

Testovací scénář	Počet let
FVE + AKU + EV ₁	30
FVE + AKU + EV ₁ + EV ₂	28
FVE + EV ₁ + EV ₂	27

Vzhledem k tomu, že cena akumulátorů představuje jen 18 % celkové investice, není pokles doby návratnosti tak radikální. Je ale nutno podotknout, že se z dlouhodobého hlediska zmenší výdaje za výměnu akumulátorů. Do výpočtu není také zahrnuta pořizovací cena elektromobilu a jeho provozní náklady, neboť primární účel elektromobilu je přeprava osob a výsledné úspory v rámci elektromobilu již spadají do jiné kategorie.

Závěr

Cílem práce bylo zjistit, jak by mohl být elektromobil prospěšný jako akumulární člen elektrické energie při propojení s objektem, který funguje na principu ostrovního systému. Bylo zvoleno několik variant, na základě kterých proběhla analýza efektivity systému po technologické a ekonomické stránce. Při prvním nahlédnutí do této problematiky bylo zjištěno, že po technologické stránce jsou zde jen minimální omezení a všechno je tedy jen otázka financí. Je logické, že ekonomický faktor je rozhodující pro výslednou efektivitu celého systému. Bylo tedy nutné pouze zvolit optimální kompromis mezi cenou a technologií. Za těchto podmínek se ostrovní systém jevil jako velmi neefektivní.

Jistou změnu do této problematiky zavádí odvětví elektromobility. Objekt byl tedy uzpůsoben pro komunikaci s elektromobilem a obousměrný tok elektrické energie. Byl tedy zaveden systém V2H. Výsledkem bylo navýšení stávající kapacity objektu. Co nejvyšší kapacita v podobě akumulátorů je podstatou ostrovního systému. Zde bylo zváženo několik možností jak dodatečnou volnou kapacitu, kterou elektromobily disponují využít. První možností bylo pouze navýšit stávající kapacitu objektu a zvětšit tak počet dnů, kdy je objekt schopen fungovat v ostrovním režimu. Druhou možností bylo snížení kapacity akumulátorů v objektu, která by byla nahrazena kapacitou akumulátoru elektromobilu. Výsledkem by byly menší pořizovací náklady pro vestavěný systém objektu. Nastává zde ale problém s pořizovacími náklady na elektromobil, které nejsou zanedbatelné. Tato investice by se však následně měla vrátit v podobě úspory při provozu vozidla. V takovém případě je sporné zda lze kombinovat investice do samotného objektu a do elektromobilu.

Navrhnul jsem několik variant a srovnal je na základě potřebných investic a doby návratnosti. Vliv elektromobilu byl brán v potaz pouze u ostrovního systému, kde bylo potřeba zjistit, zda může nějak ovlivnit pořizovací cenu a dobu návratnosti.

Variant	Investice	Doba návratnosti (let)	Úspora za akumulátory (Kč)
Ostrovní systém			
FVE + AKU	974.000	32	-
FVE + AKU + EV	862040	30	84.960
FVE + AKU + EV ₁ + EV ₂	804.080	28	142.920
FVE + EV ₁ + EV ₂	767.000	27	180.000
Poloostrovní systém			
FVE + AKU + GRID	297.000	16	-

Doba návratnosti klesla při využití maximálního potenciálu obou testovaných elektromobilů a eliminace akumulátoru v objektu o 5 let. Vstupní investice klesla o 20 %. Do vstupní investice však nebyly započítány ceny elektromobilů.

Do poloostrovního systému nebyl elektromobil zahrnut, neboť je to pouze doplňkový akumulární člen k již stávajícímu systému, který byl navržen jako kompromis ceny a kapacity akumulátorů. Kapacita akumulátorů tedy nedosahuje takové velikosti, aby bylo nutné provádět cílenou úsporu pomocí elektromobilu.

Po srovnání jednotlivých variant bylo patrné, že optimálním řešením je poloostrovní systém. Podmínky pro ostrovní systém nejsou v České republice zrovna příznivé, neboť množství slunečního záření dopadajícího na m^2 je u nás dle evropských měřítek značně pod průměrem. Tedy návrh kombinace FVE, akumulátoru a veřejné sítě se jeví jako optimální řešení. Varianta, kdy k objektu připojíme i elektromobil jako záložní zdroj elektrické energie je výhodná z hlediska prodloužení případné soběstačnosti objektu, ale ve výsledku to způsobí strmý nárůst investičních nákladů. Při návrhu kteréhokoliv z uvedených systémů hrají zásadní roli evropské dotace, bez kterých by tento systém prozatím nemohl za přijatelných ekonomických podmínek fungovat.

Použitá literatura

- [1] PVGIS, Online free solar photovoltaic energy calculator for stand alone or connected to the grid PV systems and plants [online]. [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php>
- [2] The Mobility House, Charging Stations [online]. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: https://shop.mobilityhouse.com/de_en/ladestationen.html
- [3] National Aeronautics and Space Administration, How do Photovoltaics Work? [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>
- [4] Czech Renewable Energy Agency, Akumulace elektrické energie [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/akumulace-elektriny>
- [5] Hybrid.cz, mapa dobíjecích stanic v ČR [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/mapa-stanic/?t=ele>
- [6] Diplomová práce: Elektrická vozidla jako akumulární prvek pro elektrické sítě. Bc. Martin Novák, Brno 2014 [cit. 2016-03-10]
- [7] Disertační práce: Eliminace diskontinuity dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Ing. Lukáš Radil, Brno 2013 [cit. 2016-03-11]
- [8] North China Electric Power University, The Operation of Microgrid Containing Electric Vehicles. Meng Tao, Ai Xin, Beijing, China [cit. 2016-03-14]
- [9] The Mobility House, What You Need to Bear in Mind When Installing a Charging Station at Home [cit. 2016-03-12] Dostupné z: <http://mobilityhouse.com/en/installation-tips-for-charging-stations/>
- [10] Schneider-electric, Připojení systému k nabíjecí stanici [cit. 2016-03-15] Dostupné z: <http://www.schneider-electric.cz/documents/product-services/en/product-launch/electric-vehicle/pripojeni-systemu-k-nabijeci-stanici.pdf>
- [11] Schneider-electric, EVlink katalog 2015-10 [cit. 2016-03-15]
- [12] Fitcraftenergy, Savebox [cit. 2016-03-17] Dostupné z: <http://www.fitcraftenergy.cz>
- [13] Fitcraftenergy, Savebox Home [cit. 2016-03-17] Dostupné z: <http://www.fitcraftenergy.cz/?project=savebox-home&lang=cs>
- [14] Hospodářské noviny [cit. 2016-03-21] Dostupné z: <http://byznys.ihned.cz/c1-63924960-v-cesku-by-melo-letos-jezdit-1000-elektromobilu-dobijecich-stanic-pribyva>
- [15] New European Driving Cycle [cit. 2016-03-23] Dostupné z: <http://nedc.com>
- [16] NF-C-15100, norma [cit. 2016-03-24] Dostupné z: <http://www.pke-electricite.fr/wp-content/uploads/2015/10/guideNFC-15-100.pdf>

- [17] ČSN EN 61851-1, norma [cit. 2016-03-24] Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/nove-normy-csn-17--14754>
- [18] IEC 61851-1, norma [cit. 2016-03-27] Dostupné z: <https://webstore.iec.ch/publication/6029>